



Inventaire des émissions atmosphériques des aéroports franciliens

Année 2022

Paris-Charles de Gaulle

Paris-Orly

Paris-Le Bourget

03/03/2025





Groupe ADP - Laboratoire

Objet du rapport : Inventaire des émissions atmosphériques des aéroports franciliens
Année 2022 - Paris-Charles de Gaulle - Paris-Orly - Paris-Le Bourget

N° d'enregistrement : INV-2022-V1

Niveau de confidentialité : Public

Version du rapport : 1^{ère} version





SOMMAIRE

Liste des tableaux	7
Liste des figures	8
Liste des abréviations	10
Résumé non technique	11
Contexte et objectifs de l'inventaire des émissions atmosphériques	19
a) Enjeux	19
b) Périmètre de l'inventaire	20
c) Les évolutions contenues dans cet inventaire	21
d) Les approches utilisées selon le niveau de détail disponible	21
e) Contenu du document	22
Partie 1 : Le trafic aérien entre 2018 et 2022	23
Partie 2 : Les émissions avions (cycle LTO)	27
a) Les données de trafic avions pour l'année 2022	27
b) Le cycle atterrissage – décollage : LTO	28
c) Les moteurs auxiliaires (APU) au poste	36
Partie 3 : Maintenance et manutention des avions au sol	43
a) Les assistants en escale (GSE dont GPU)	43
b) Avitaillement en carburant	48
Partie 4 : Le trafic routier	49
a) Trafic routier en zone publique	49
b) Trafic routier en zone réservée	56
c) Résultats des calculs d'émissions en zones publique et réservée	57
Partie 5 : le trafic ferroviaire (TGV et RER)	61
a) Méthodologie de calcul	61
b) Résultats des calculs d'émissions	61
Partie 6 : Les centrales thermiques	63
a) Méthodologie de calcul	63
b) Synthèse des émissions	63
Partie 7 : Essais moteurs	67
a) Méthodologie de calcul	67
b) Résultats des calculs d'émissions	67



Perspectives d'amélioration engagées par source

69

Annexes

71



Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristique des différents niveaux d'approche pour un inventaire d'émissions d'après le guide de l'OACI (2020).	22
Tableau 2: Nombre de mouvements avions par plateforme en 2022	27
Tableau 3 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du cycle LTO (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2022)	29
Tableau 4: Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des APU au poste (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2022 pour Paris-Orly, Paris-Charles de Gaulle et Paris-Le Bourget)	37
Tableau 5 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des engins spéciaux au poste (en gras l'approche retenue pour l'inventaire 2022)	43
Tableau 6: Emissions de COVNM par avitaillement de carburant sur chaque plateforme	48
Tableau 7: Liste des origines des émissions de polluants	50
Tableau 8 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du trafic routier en zone publique (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2022)	50
Tableau 9: Distances totales et vitesse moyenne sur les réseaux Paris-Charles de Gaulle	52
Tableau 10: Distances totales et vitesse moyenne sur les réseaux Paris-Orly	52
Tableau 11 : Rapport de mélange des composés soufrés dans les carburants routiers	56
Tableau 12 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du trafic routier en zone publique (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2022)	56
Tableau 13 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier (en zones publique et réservée) sur l'année 2020 – Paris-Charles de Gaulle	59
Tableau 14 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier (en zones publique et réservée) sur l'année 2021 – Paris-Charles de Gaulle	59
Tableau 15 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier (en zones publique et réservée) sur l'année 2022 – Paris-Charles de Gaulle	59
Tableau 16 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier (en zones publique et réservée) sur l'année 2021 – Orly	59
Tableau 17 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier (en zones publique et réservée) sur l'année 2022 – Orly	60
Tableau 18 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier (en zone réservée) sur l'année 2021 – Le Bourget	60
Tableau 19 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier (en zone réservée) sur l'année 2022 – Le Bourget	60
Tableau 20: Emissions de particules (en tonnes) par le trafic ferroviaire émises par abrasion (matériels roulants + caténaires) sur l'emprise de la plateforme de Paris-Charles de Gaulle en 2022	61
Tableau 21 Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des CTFE (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2022)	63
Tableau 22: Emissions des polluants des centrales thermiques mesurées en continu pour l'année 2022 en tonnes	63

Liste des figures

Figure 1 : Evolution pluriannuelle du nombre de mouvements sur les plateformes de Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget entre 2018 et 2022	24
Figure 2 : Synthèse des données du trafic aérien entre 2018 et 2022 sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle	25
Figure 3 : Synthèse des données du trafic aérien entre 2018 et 2022 sur la plateforme Paris-Orly.....	26
Figure 4 : Exemple pour un cycle LTO en configuration d'atterrissage et décollage face à l'Est à Paris-Charles-de-Gaulle	28
Figure 5 : Evolution des émissions par polluant (CO, COVNM, NO _x , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}) détaillée par phase du cycle LTO à Paris-Charles de Gaulle	30
Figure 6 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5}) à Paris-Charles de Gaulle.....	31
Figure 7 : Evolution des émissions par polluant (CO, COVNM, NO _x , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}) détaillée par phase du cycle LTO à Paris-Orly.....	32
Figure 8 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5}) à Paris-Orly .	32
Figure 9 : Evolution des émissions par polluant (CO, COVNM, NO _x , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}) détaillée par phase du cycle LTO à Paris-Le Bourget	34
Figure 10 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5}) à Paris-Le Bourget	34
Figure 11 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO _x , COVNM, CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} , et SO ₂ (en tonnes) des APU au poste à Paris-Charles de Gaulle	38
Figure 12 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO _x , COVNM, CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} , et SO ₂ (en tonnes) des APU au poste à Paris-Orly.....	39
Figure 13 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO _x , COVNM, CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} , et SO ₂ (en tonnes) des APU au poste à Paris-Le Bourget	40
Figure 14 : Evolution pluriannuelle des émissions en tonnes de CO, NO _x , COVNM et PM ₁₀ / PM _{2.5} avec les facteurs CDG 2018 pour la plateforme de Paris-Charles de Gaulle entre 2018 et 2022	45
Figure 15 : Evolution pluriannuelle des émissions en tonnes de NO _x , COVNM, CO et PM ₁₀ avec les facteurs CDG 2018 pour la plateforme de Paris-Orly entre 2018 et 2022	46
Figure 16 : Evolution pluriannuelle des émissions en tonnes de NO _x , COVNM, CO, PM ₁₀ et PM _{2.5} pour la plateforme de Paris-Le Bourget entre 2019 et 2022.....	47
Figure 17: Les différents types de sources d'émissions sur un véhicule thermique routier (schéma adapté du document non technique de l'Agence de l'Environnement Européenne).....	49
Figure 18: Méthodologie d'estimation des émissions par échappement, évaporation et abrasion	50
Figure 19: caractérisation d'un véhicule dans un parc roulant	53
Figure 20: Infographie sur les parcs UGE-IFSTAR 2021 et 2022, répartition par catégorie de véhicules, selon les normes Euro et par énergie. La répartition sur le nombre de véhicules selon les normes Euro balaye une période glissante de 5 année.....	54
Figure 21: Exemple de facteurs d'émission en fonction de la vitesse pour les NO _x sur la base des facteurs COPERT V et du parc UGE-IFSTAR-2020.....	55
Figure 22: Emissions totales sur les années 2020, 2021 et 2022 issues du trafic routier en zone publique, par polluant et par catégorie de véhicule (2R, VL, PL) ainsi que le total des émissions sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle	58
Figure 23: Emissions totales sur les années 2020, 2021 et 2022 issues du trafic routier en zone publique, par polluant et par catégorie de véhicule (2R, VL, PL) ainsi que le total des émissions sur la plateforme Paris-Orly.....	58
Figure 24 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO _x , CO, TSP et SO ₂ et temps de fonctionnement des CTFE de Paris-Charles de Gaulle	64
Figure 25 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO _x , CO, TSP et SO ₂ et des temps de fonctionnement des CTFE de Paris-Orly.....	64
Figure 26 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO _x , CO, COVNM, SO ₂ , PM ₁₀ et PM _{2.5} lors des essais moteurs sur Paris-Charles de Gaulle.....	68

Liste des abréviations

ACA	= Accréditation carbone des aéroports (Airport Carbon Accreditation)
ACI	= Airport Council International
ACNUSA	= Autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires
ACU	= Unité de climatisation (Air Conditioning Unit)
ADP	= Aéroports de Paris
AIBT	= Temps actuel d'entrée au bloc avion (Actual In-Block Time)
AOBT	= Temps actuel de sortie du bloc avion (Actual Off-Block Time)
AOST	= Autorité de la qualité de Service dans les Transports
APU	= Moteurs auxiliaires de puissance (Auxiliary Power Unit)
CAEP	= Comité de protection de l'environnement en aviation (Committee on Aviation Environmental Protection)
CDG	= Paris-Charles de Gaulle
CITEPA	= Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique
CLA	= Couche limite atmosphérique
CO	= Monoxyde de carbone
CO ₂	= Dioxyde de carbone
COVNM	= Composés organiques volatils non-méthaniques
CTFE	= Centrale thermique frigorigène électrique
CTP	= Centrale Thermique Primaire
DGAC	= Direction générale de l'aviation civile
EASA	= Agence européenne de la sécurité aérienne (European Union Aviation Safety Agency)
EEA	= Agence européenne de l'environnement (European Environment Agency)
ETOPS	= Extended-range Twin-engine Operational Performance Standards
FAA	= Administration fédérale de l'aviation (Federal Aviation Administration)
FOA	= Approximation de premier ordre (First Order Approximation)
GPU	= Groupe auxiliaire de puissance (Ground Power Unit)
GSE	= Engins de piste (Ground Support Equipment)
GTA	= Gendarmerie du transport aérien
HBEFA	= Guide méthodologique sur les facteurs d'émission (HandBook of Emission Factors)
HC	= Hydrocarbures
ICPE	= Installation classée pour la protection de l'environnement
LBG	= Paris-Le Bourget
LCSQA	= Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air
LTO	= Cycle atterrissage décollage (Landing Take-Off)
MTOW	= Masse maximale au décollage (Maximum Take-Off Weight)
NFR	= Code source uniformisé utilisé dans le cadre des inventaires nationaux (Nomenclature For Reporting)
NO _x	= Oxydes d'azote (NO + NO ₂) exprimé en eq. NO ₂
OACI	= Organisation de l'aviation civile internationale
OMINEA	= Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques en France
ORY	= Paris-Orly
PAX	= Passagers
PCA	= (unité d'air préconditionné (Preconditioned Air Unit)
PCNIT	= Pôle national de coordination des inventaires territoriaux
PM ₁₀	= Particules en suspension de diamètre inférieur à 10 µm
PM _{2,5}	= Particules en suspension de diamètre inférieur à 2,5 µm
SNAP	= Nomenclature utilisée pour les sources de polluants atmosphériques (Selected Nomenclature for Sources Air Pollutants)
SNBC	= Stratégie Nationale Bas Carbone
SO ₂	= Dioxyde de Soufre
TIM	= Temps ou durée par phase (Time In Mode)
TS	= Réglage de poussée (Thrust Setting)
TSP	= Total des particules en suspension (Total Suspended Particles)
UNFCCC	= Convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques (United Nations Framework Convention on Climate Change)

Résumé non technique

Ce document présente l'inventaire des émissions atmosphériques pour l'année 2022 sur les trois plateformes franciliennes opérées par le Groupe ADP : Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget. Ce travail est principalement motivé :

- Pour répondre au contexte réglementaire applicable ;
- Par une volonté ambitieuse du Groupe ADP pour décarboner ses activités dans le cadre de sa feuille de route Pioneer 2025.

Les secteurs d'activité pris en compte dans cet inventaire sont les suivants :

- **Les émissions du cycle LTO (Landing and Take-Off) des aéronefs tel que défini par l'OACI** - émissions lors des phases de roulage, d'atterrissage, de décollage et de montée ;
- **Les émissions des APU au poste avion** - le groupe de puissance auxiliaire est utilisé pour fournir de l'électricité et de la climatisation/chauffage à l'avion ;
- **Les émissions des engins spéciaux au sol communément appelés GSE (Ground Services Equipment)** - Ces engins interviennent au poste avion pour approvisionner, décharger, entretenir l'aéronef au cours de l'escale. Pour la première fois dans ces inventaires, les émissions associées à l'avitaillement ont été estimées ;
- **Les émissions du trafic routier** - en zone réservée coté piste et en zone publique ;
- **Les émissions du trafic ferroviaire** - comprenant à Paris-Charles de Gaulle le TGV, RER, ainsi que la ligne CDGVAL ;
- **Les émissions de centrales thermiques** - ces centrales permettent la production d'eau chaude et d'eau froide utilisées notamment pour le chauffage et la climatisation dans les terminaux pour les plateformes de Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly ;
- **Les émissions liées aux essais moteurs des aéronefs** – et concernent le banc d'essais moteurs de nouvelle génération positionné sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle.

Les résultats principaux sont les suivants :

- La reprise des activités aéroportuaires amorcée en 2021 se poursuit en 2022 en raison de l'augmentation des PAX sur les plateformes. Sur Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly, le trafic reste cependant inférieur aux standards habituels. A la différence de Paris-Le Bourget, année durant laquelle, le trafic avion a atteint des records. On pourra noter un ralentissement des activités de transport de marchandises en raison du contexte international et du prix en hausse des matières premières.
- Ces tendances sur le trafic se répercutent sur les émissions estimées. Elles augmentent par rapport à 2021 mais restent inférieures à celles estimées sur l'année de référence (2019 pour Paris-Charles de Gaulle et Paris-Le Bourget, et 2018 pour Paris-Orly) à l'exception de Paris-Le Bourget, plateforme qui présente des émissions supérieures à l'année de référence.
- Les émissions concernant certains secteurs sont encore surestimées, notamment au roulage des avions – secteur qui n'intègre pas, pour le moment, les opérations de décarbonation déjà mises place par les compagnies aériennes (N-1 moteur).

Les émissions calculées, par polluant, sur l'année 2022 sont présentées sur les graphiques suivants. Ces visuels proposent un détail des sources, des impacts par polluant ainsi que la contribution des différents postes émetteurs suivis dans cet inventaire. Les émissions totales sont également reportées ainsi que les tendances (en pourcentage) par rapport à l'année de référence, uniquement sur le cycle LTO. Le nombre de passagers (PAX) et le nombre de mouvements pour l'année 2022, sont également reportés.



Oxydes d'azote

Il s'agit de la somme du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO₂).
 Les émissions sont principalement issues des activités de combustion fossile, telles que le transport (routier, fluvial, aéroportuaire), le chauffage (bois, fioul, etc.) et l'industrie.
 Il est également produit par des sources naturelles telles que les éclairs, les activités volcaniques, les feux de forêts.



SANTÉ

Seule l'exposition au NO₂ est réglementée et peut entraîner :

- à court-terme un risque accru de décès, cardiovasculaire et respiratoire.
- À long-terme le développement de l'asthme, augmenter le risque d'infections respiratoires et de maladies pulmonaires chroniques (toux, respirations sifflantes, difficultés à respirer, réduction de l'odorat...).

Les personnes asthmatiques, ainsi que les enfants et les personnes âgées sont généralement plus à risque de subir les effets du NO₂ sur la santé.



ENVIRONNEMENT

Les oxydes d'azote peuvent provoquer plusieurs conséquences sur l'environnement :

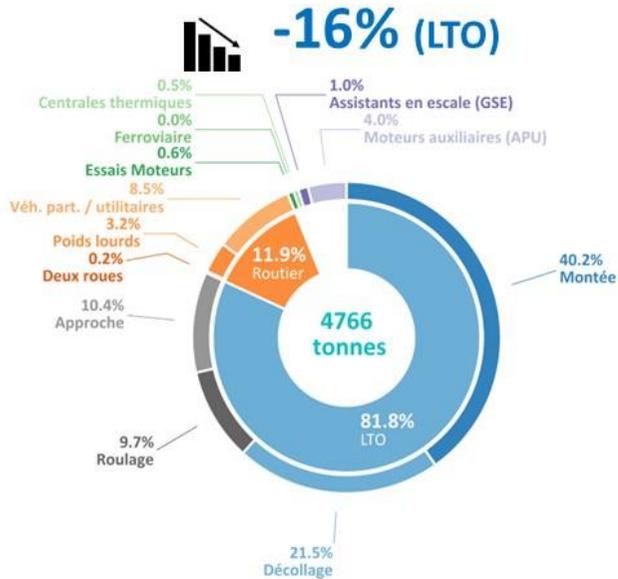
- L'appauvrissement des sols et des végétaux,
- La corrosion des métaux de construction et donc la détérioration des bâtiments,
- la formation d'ozone.

Ils peuvent contribuer également à la formation de particules fines.



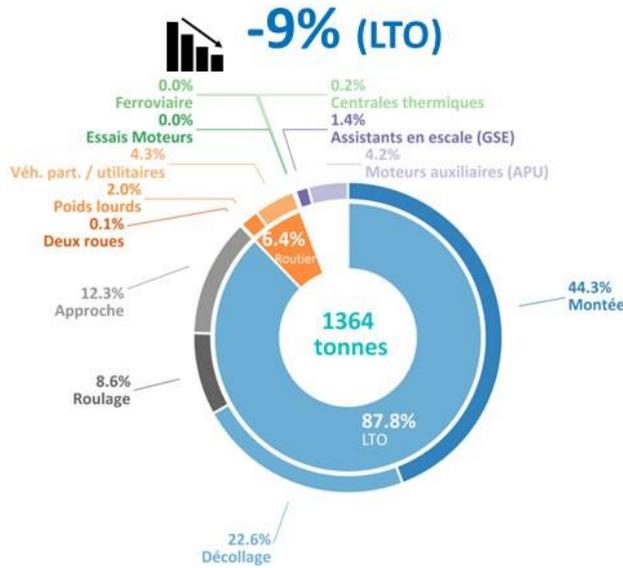
TENDANCES 2022 par rapport à 2019 (CDG, LBG) et 2018 (ORY) et CONTRIBUTIONS SECTORIELLES

Paris-Charles de Gaulle



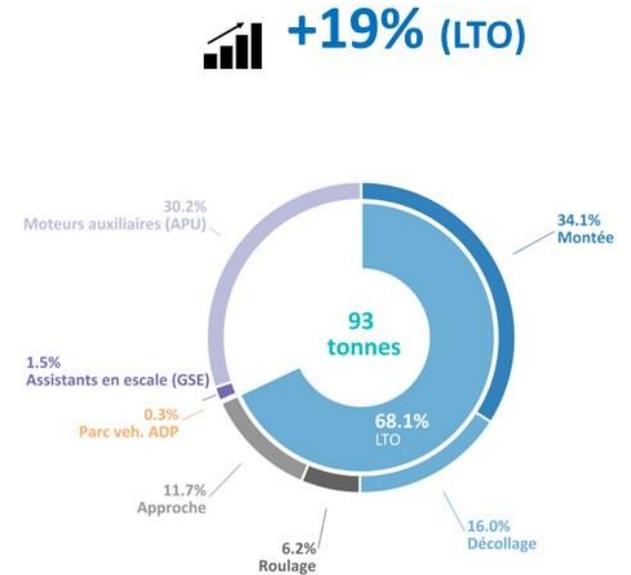
402 849 (mvts)
57 millions (PAX)

Paris-Orly



195 791 (mvts)
29 millions (PAX)

Paris-Le Bourget



64 379 (mvts)
-



Monoxyde de carbone

Les émissions sont principalement issues des activités de combustion fossile, telles que le transport (routier, fluvial, aéroportuaire), le chauffage (bois, fioul, etc.) et l'industrie. Il est également produit par des sources naturelles telles que les feux de forêts.



SANTÉ

Des troubles neurologiques peuvent apparaître immédiatement après l'intoxication ou après un intervalle variant de quelques jours à plusieurs mois. Ces accidents peuvent laisser des séquelles irréversibles de type neurologiques (syndrome parkinsonien, surdité de perception, polynévrites, troubles du comportement) et cardiaques (troubles de la repolarisation, infarctus du myocarde). L'intoxication est particulièrement grave chez la femme enceinte, spécialement pour le fœtus qui peut être intoxiqué ; l'hémoglobine fœtale a en effet une affinité pour le monoxyde de carbone encore plus importante que l'hémoglobine maternelle.



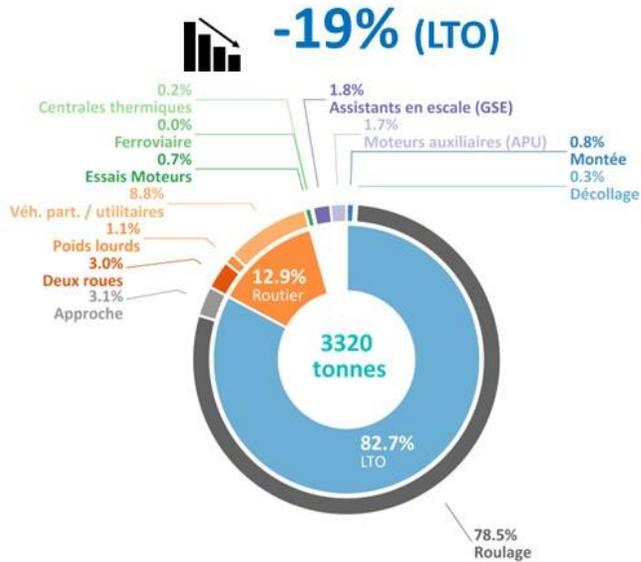
ENVIRONNEMENT

Le monoxyde de carbone participe à la formation de l'ozone de basse altitude, un autre polluant de l'air. Son oxydation aboutit à la formation de dioxyde de carbone (CO₂), un des principaux gaz à effet de serre, responsable du dérèglement climatique.



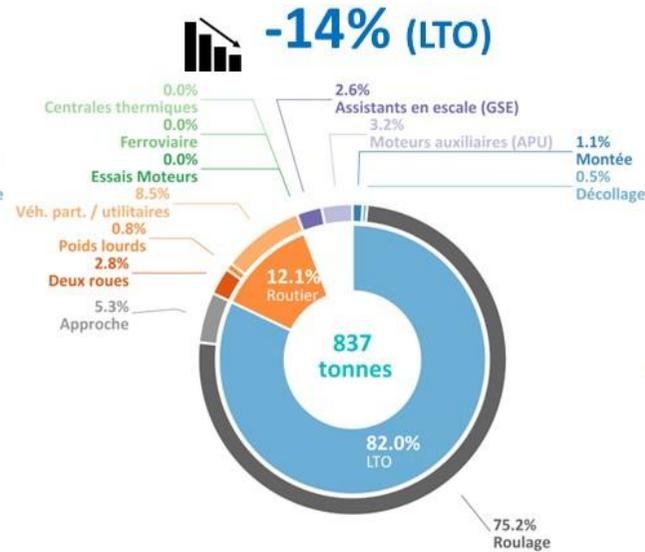
TENDANCES 2022 par rapport à 2019 (CDG, LBG) et 2018 (ORY) et CONTRIBUTIONS SECTORIELLES

Paris-Charles de Gaulle



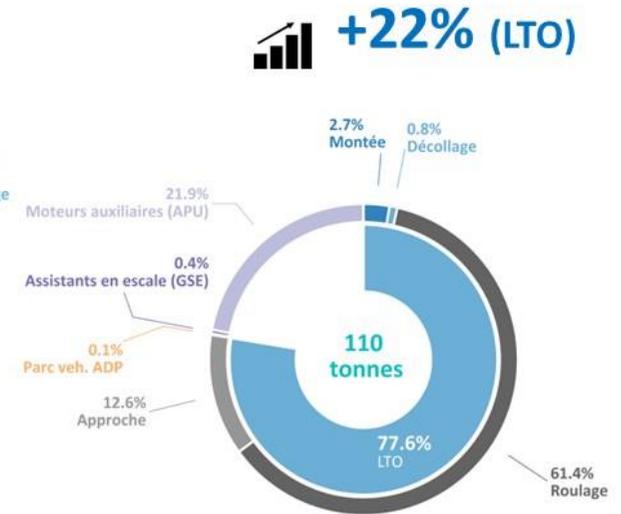
402 849 (mvts)
57 millions (PAX)

Paris-Orly



195 791 (mvts)
29 millions (PAX)

Paris-Le Bourget



64 379 (mvts)
-



Il s'agit des Composés Organiques Volatils Non Méthanique. Ils forment une très large famille, englobant plusieurs centaines de substances que l'on retrouve sous forme gazeuse dans l'air ambiant. Les sources d'émissions sont multiples mais proviennent principalement du résidentiel/tertiaire (utilisation domestique de solvants) ; l'industrie chimique ; la production d'hydrocarbures ; les transports (gaz d'échappement, évaporation de carburant). La végétation constitue une source majeure de COVNM au niveau global, avec notamment la synthèse de composés aromatiques responsables, par exemple, du parfum des fleurs, des arbres ou des plantes.



SANTÉ

Une exposition aux COVNM peut causer maux de tête, irritation des voies respiratoires ou nausées dans l'immédiat, mais également des pathologies plus graves telles que des difficultés respiratoires, des problèmes dermatologiques ou des troubles de la reproduction, en cas d'exposition répétée. Certains COVNM, comme le formaldéhyde, que l'on trouve dans les colles et résines des bois agglomérés, le benzène, émis dans les gaz d'échappement, ou le perchloroéthylène, utilisé pour le nettoyage à sec, sont classés cancérigènes pour l'être humain. Ils peuvent avoir, par conséquent, un effet sanitaire sur le long-terme.



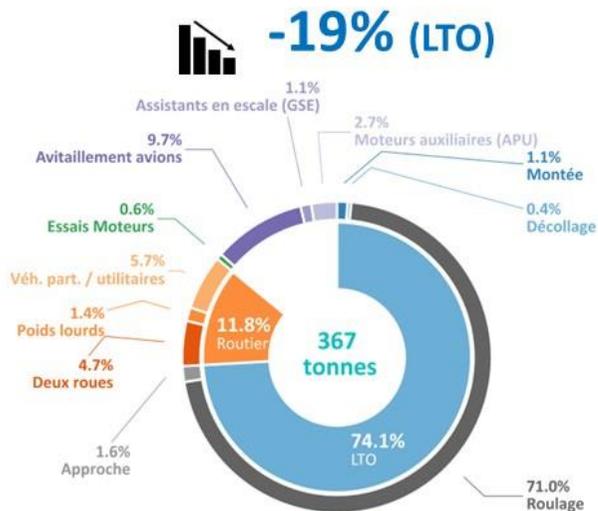
ENVIRONNEMENT

En période estivale, les COVNM interviennent dans le cycle de formation / destruction d'ozone troposphérique et influencent ainsi indirectement le réchauffement de la planète, ce qui peut avoir des effets néfastes sur l'environnement. En plus, certains COVNM contribuent au phénomène des pluies acides qui dégradent les bâtiments et nuisent aux animaux et aux végétaux. En modifiant la biodiversité, les COVNM peuvent également avoir des effets négatifs sur les écosystèmes.



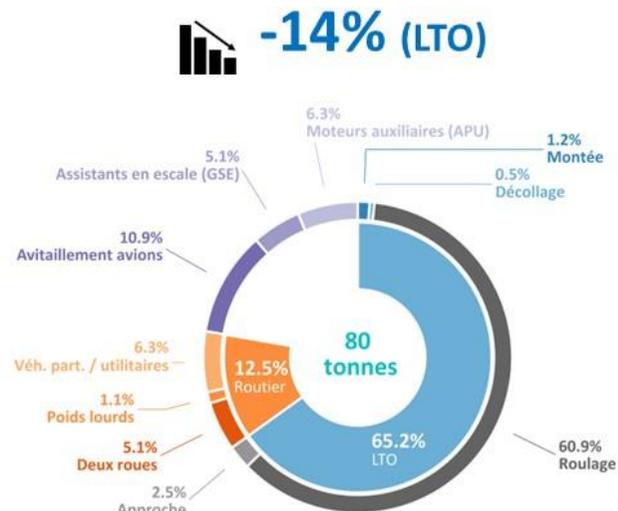
TENDANCES 2022 par rapport à 2019 (CDG, LBG) et 2018 (ORY) et CONTRIBUTIONS SECTORIELLES

Paris-Charles de Gaulle



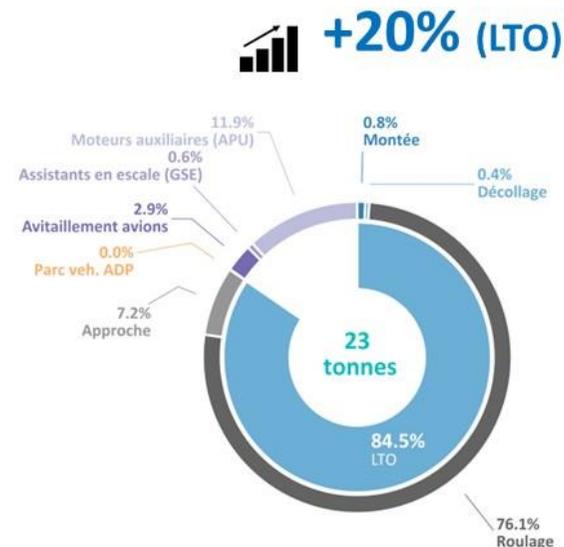
✈️ 402 849 (mvts)
 👤 57 millions (PAX)

Paris-Orly



✈️ 195 791 (mvts)
 👤 29 millions (PAX)

Paris-Le Bourget



✈️ 64 379 (mvts)
 👤 -



Dioxyde de soufre

Le SO₂ est principalement émis lors de la combustion de matières fossiles (selon le contenu en soufre dans les carburants), telles que le charbon et le pétrole. Plus de la moitié est rejetée par les activités industrielles, y compris celles liées à la production d'énergie comme les centrales thermiques. Mais il est également répandu par le chauffage résidentiel ou des entreprises. Le dioxyde de soufre provient également de l'activité volcanique, qui en est la première source naturelle



SANTÉ

Le dioxyde de soufre est irritant pour les yeux et les muqueuses. A forte concentration, ce polluant peut avoir des effets sur la santé comme affecter le système respiratoire et la fonction pulmonaire chez l'adulte (toux, gêne respiratoire, bronchite...) et provoquer ou aggraver les maladies respiratoires chez les personnes sensibles (asthmatiques, fumeurs, maladies respiratoires chroniques...).



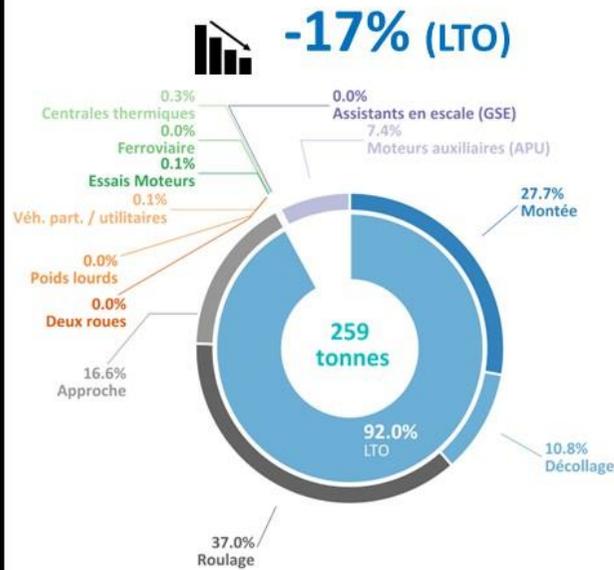
ENVIRONNEMENT

Une fois rejeté dans l'air et en présence d'eau, le SO₂ se transforme en acide sulfurique provoquant le phénomène des pluies acides. Ceci peut avoir pour conséquence : les dépôts acides sur les matériaux de construction (pouvant endommager le patrimoine architectural et culturel) ; l'acidification des eaux de surface; la dégradation des sols (entraînant des effets néfastes sur la végétation et les plantes). Les émissions de dioxyde de soufre sont aussi à l'origine de la formation de brouillards toxiques connus sous le nom de smog. Le SO₂ est également considéré comme un précurseur de particules fines.



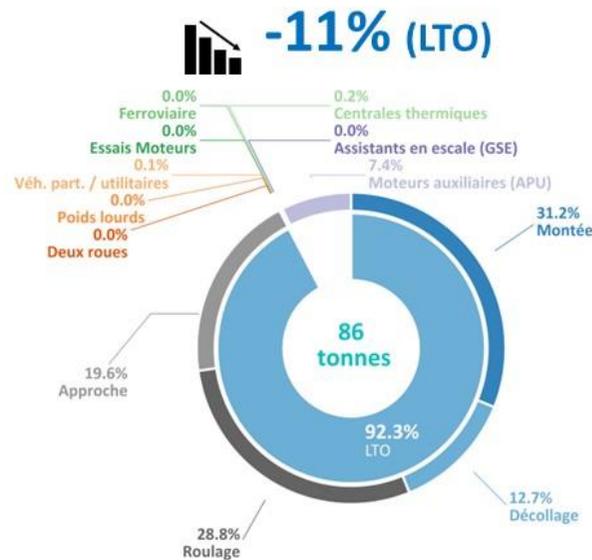
TENDANCES 2022 par rapport à 2019 (CDG, LBG) et 2018 (ORY) et CONTRIBUTIONS SECTORIELLES

Paris-Charles de Gaulle



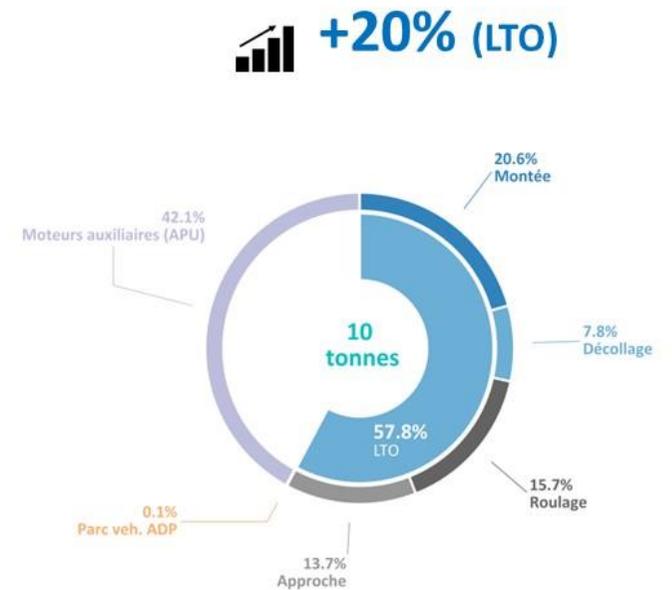
402 849 (mvts)
57 millions (PAX)

Paris-Orly



195 791 (mvts)
29 millions (PAX)

Paris-Le Bourget



64 379 (mvts)
-



Particules grossières

Les particules en suspension (notées PM en anglais pour Particulate Matter) incluent les matières microscopiques en suspension dans l'air ou dans l'eau. Les particules en suspension dans l'air se nomment aérosol. Les PM10 regroupent les particules de diamètre inférieur à 10 µm. Elles peuvent être émises directement dans l'air par des activités anthropiques (industrie, résidentiel, agriculture, transports) et par des sources naturelles (feux de forêt, éruptions volcaniques, etc.). Des particules peuvent également se former directement dans l'atmosphère par réactions physico-chimiques entre des polluants déjà présents dans l'atmosphère.



SANTÉ

L'exposition chronique à ces particules augmente le risque de contracter des maladies respiratoires et cardiovasculaires, et notamment des cancers pulmonaires et des AVC. Les effets sur la santé dépendent notamment de la taille des particules : les particules grossières, de diamètre compris entre 2,5 et 10 µm, ont des effets sur la santé respiratoire, alors que les particules fines, de diamètre inférieur à 2,5 µm, impactent également la santé cardiovasculaire, aggravent le risque de maladies neurodégénératives et de faible poids à la naissance.



ENVIRONNEMENT

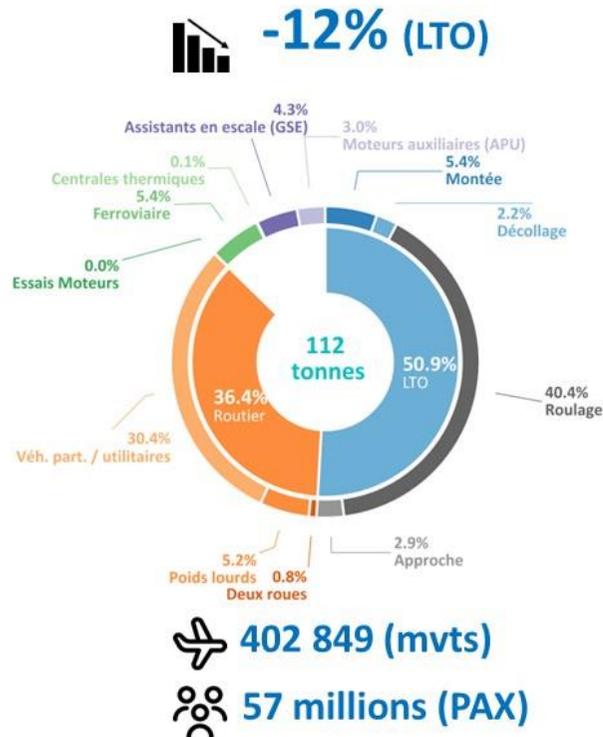
Concernant les impacts environnementaux, les particules provoquent le noircissement et des encroûtements sur les façades des bâtiments.

Les particules ont également un impact variable sur le changement climatique en fonction de leur composition chimique. En agissant sur la formation des nuages et selon leurs propriétés, elles peuvent renforcer l'effet de serre en « piégeant » le rayonnement terrestre, ou l'atténuer en réfléchissant le rayonnement solaire.

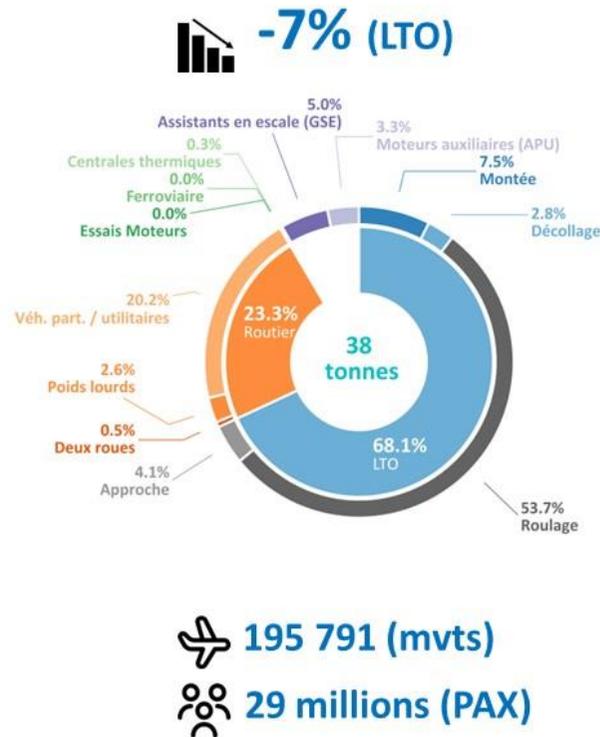


TENDANCES 2022 par rapport à 2019 (CDG, LBG) et 2018 (ORY) et CONTRIBUTIONS SECTORIELLES

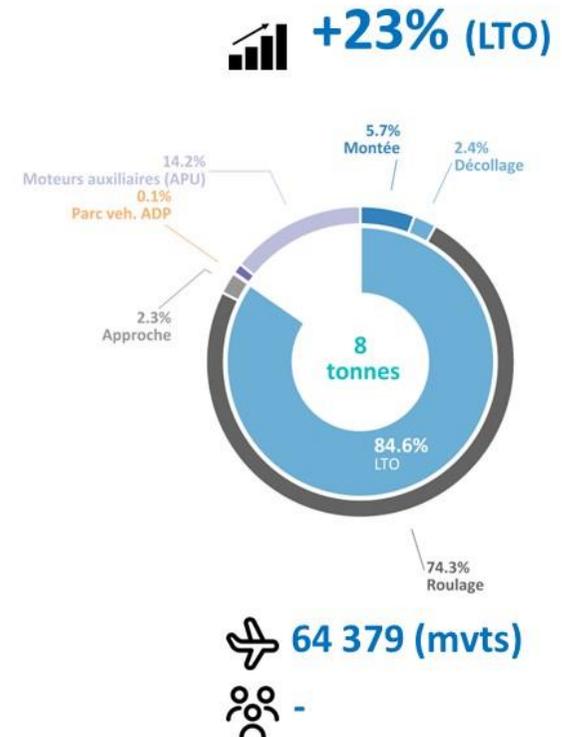
Paris-Charles de Gaulle



Paris-Orly



Paris-Le Bourget





Particules fines

Les particules en suspension (notées PM en anglais pour Particulate Matter) incluent les matières microscopiques en suspension dans l'air ou dans l'eau. Les particules en suspension dans l'air se nomment aérosol. Les PM_{2,5} regroupent les particules de diamètre inférieur à 2,5 µm. Elles peuvent être émises directement dans l'air par des activités anthropiques (industrie, résidentiel, agriculture, transports) et par des sources naturelles (feux de forêt, etc.). Des particules peuvent également se former directement dans l'atmosphère par réactions physico-chimiques entre des polluants déjà présents dans l'atmosphère.



SANTÉ

L'exposition chronique à ces particules augmente le risque de contracter des maladies respiratoires et cardiovasculaires, et notamment des cancers pulmonaires et des AVC. Les effets sur la santé dépendent notamment de la taille des particules : les particules grossières, de diamètre compris entre 2,5 et 10 µm, ont des effets sur la santé respiratoire, alors que les particules fines, de diamètre inférieur à 2,5 µm, impactent également la santé cardiovasculaire, aggravent le risque de maladies neurodégénératives et de faible poids à la naissance.



ENVIRONNEMENT

Concernant les impacts environnementaux, les particules provoquent le noircissement et des encroûtements sur les façades des bâtiments.

Les particules ont également un impact variable sur le changement climatique en fonction de leur composition chimique. En agissant sur la formation des nuages et selon leurs propriétés, elles peuvent renforcer l'effet de serre en « piégeant » le rayonnement terrestre, ou l'atténuer en réfléchissant le rayonnement solaire.



TENDANCES 2022 par rapport à 2019 (CDG, LBG) et 2018 (ORY) et CONTRIBUTIONS SECTORIELLES

Paris-Charles de Gaulle

-18% (LTO)

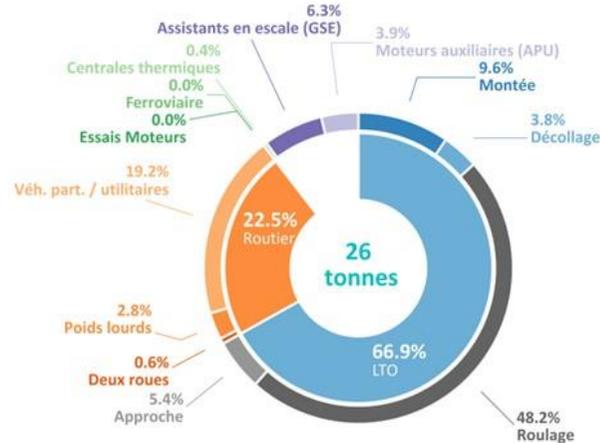


402 849 (mvts)

57 millions (PAX)

Paris-Orly

-13% (LTO)

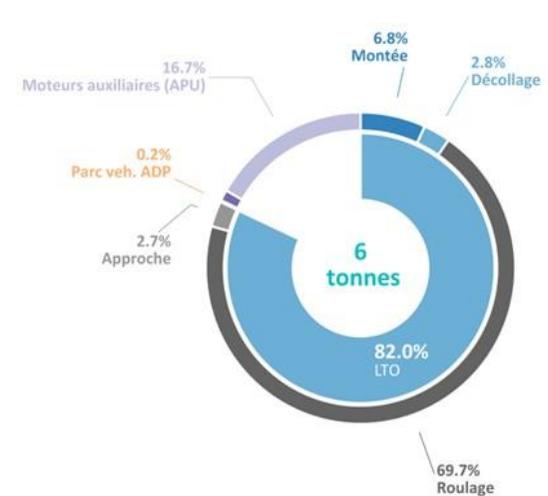


195 791 (mvts)

29 millions (PAX)

Paris-Le Bourget

+21% (LTO)



64 379 (mvts)

-

Contexte et objectifs de l'inventaire des émissions atmosphériques

a) Enjeux

Le Groupe ADP produit annuellement et à l'échelle des plateformes aéroportuaires Paris-Charles-de-Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget, son inventaire des émissions de polluants atmosphériques par secteur d'activité. Cette démarche s'inscrit selon les deux axes détaillés ci-dessous.

Répondre au contexte réglementaire applicable

La production de cet inventaire des émissions atmosphériques sur et autour des aéroports Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget répond aux prescriptions du 6 octobre 2020, Titre II, portant sur la gestion de la qualité de l'air par les exploitants aéroportuaires de l'autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires (ACNUSA)¹ nommé ACNUSA (2020) dans la suite de ce document. Les objectifs principaux sont :

- "L'évaluation de la contribution de chaque source d'émission de polluants atmosphériques" ;
- "Le suivi des émissions de polluants atmosphériques de l'aéroport" ;
- "L'identification et la mobilisation des gisements de réduction des émissions de polluants atmosphériques".

Cet inventaire doit être actualisé au moins tous les deux ans conformément à l'article 1609 *quater* vices A du code général des impôts s'appliquant aux aéroports "pour lesquels le nombre annuel des mouvements d'aéronefs de masse maximale au décollage supérieure ou égale à 20 tonnes a dépassé vingt mille lors de l'une des cinq années civiles précédentes"².

Une volonté ambitieuse du Groupe ADP pour décarboner ses activités

En 2022, le Groupe ADP s'est doté d'une feuille de route stratégique, 2025 *Pioneers*, pour construire le socle d'un nouveau modèle aéroportuaire orienté vers la durabilité et la performance, en intégrant une approche structurelle de transformation environnementale et d'insertion de ses activités aéroportuaires dans les territoires.

Au-delà de se conformer aux exigences légales et normatives, le Groupe ADP a mis en place une nouvelle politique environnementale et énergétique adossée à cette feuille de route stratégique 2025 *Pioneers*, fondée sur 4 axes structurants :

- 1- Tendre vers le zéro impact environnemental et énergétique en exploitation ;
- 2- Participer activement à la transition environnementale du secteur aérien ;
- 3- Promouvoir l'intégration de chaque aéroport dans un système de ressources locales ;
- 4- Réduire l'empreinte environnementale des projets d'aménagement et de développement des activités aéroportuaires.

Cette nouvelle politique se décline au travers de 15 engagements faisant apparaître, entre autres, la volonté affichée du Groupe ADP, depuis plusieurs années, d'améliorer la qualité de l'air et de limiter ses impacts environnementaux, en particulier, via la maîtrise de ses émissions polluantes.

¹ Autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires. Prescriptions du 6 octobre 2020 portant sur la gestion de la qualité de l'air par les exploitants aéroportuaires sur et autour des aéroports. NOR : ACNG2027066S. Prescriptions du 6 octobre 2020 portant sur la gestion de la qualité de l'air par les exploitants aéroportuaires sur et autour des aéroports - Légifrance

² Même si l'aéroport d'affaires Paris-Le Bourget n'est pas concerné par l'article 1609 *quater* vices A du code général des impôts, la fréquence de mise-à-jour de l'inventaire des émissions est la même que pour les aéroports Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly

Inventaire 2022 des émissions atmosphériques - Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly, Paris-Le Bourget

b) Périmètre de l'inventaire

L'inventaire des émissions, présenté dans ce document, s'applique à l'année 2022, et concerne les principales sources de pollution atmosphérique imputables aux activités aéroportuaires sur les trois plateformes opérées par le Groupe ADP, selon l'état actuel des connaissances.

L'inventaire couvre ainsi les activités émettrices principales dans les limites des propriétés des trois aéroports mentionnés. L'inventaire s'étend également aux infrastructures des transports routier (Paris-Charles de Gaulle, et Paris-Orly) et ferroviaire (Paris-Charles de Gaulle) pour prendre en compte le trafic induit par les activités sur les plateformes.

Les polluants atmosphériques, retenus dans cet inventaire, sont ceux préconisés par l'ACNUSA (2020) et l'OACI³ (dans le cadre de sa proposition n°10 relative à la liste de base de polluants à inventorier), à savoir :

- Les oxydes d'azote (NOx) ;
- La matière particulaire en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm (PM₁₀) ;
- La matière particulaire en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm (PM_{2.5}) ;
- La matière particulaire totale en suspension (TSP) ;
- Les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) ;
- Les oxydes de soufre assimilés dans cet inventaire au dioxyde de soufre (SO₂) ;
- Le monoxyde de carbone (CO).

L'inventaire présenté dans ce document n'intègre pas :

- Les calculs d'émissions de dioxyde de carbone (CO₂) car font l'objet de publications spécifiques de la part de Groupe ADP⁴ notamment dans le cadre de la certification ACA (Airport Carbon Accreditation), de l'ACI (Airport Council International) et de l'initiative SBTi (Science-Based Targets Initiative) pour accompagner les entreprises et les organisations dans la réduction de leurs émissions de GES (Gaz à effet de Serre) notamment le CO₂.
- Les particules en suspension exprimées pour caractériser principalement le carbone suie ou "Black Carbon", les particules ultrafines (PUF) ainsi que la liste des polluants étendues, décrites dans le document méthodologique cadre de l'OACI⁵, incluant notamment des polluants émergents et la spéciation des COVNM (1,3-butadiène, acroléine, etc.) n'ont pas été intégrées, à ce jour, dans cet inventaire en raison d'un cadre réglementaire et méthodologique peu développé sur ces polluants.

Un nombre important de sources d'émissions spécifiques a été pris en compte dans le présent inventaire. Les sources principales identifiées sont issues :

- des phénomènes de combustion dont les sources peuvent émettre des composés gazeux tels que les NOx, le CO, les COVNM, le SO₂ et des particules en suspension classée comme grossières (PM₁₀) et fines (PM_{2.5}) ;
- des phénomènes d'abrasion liés à l'usure de la chaussée, des freins et des pneumatiques relarguant des particules en suspension ;
- enfin, les émissions liées à l'évaporation de COVNM lors du roulage des véhicules routiers.

Pour prendre en compte la variabilité des sources d'émissions, celles-ci ont été regroupées selon leur typologie. Les catégories suivantes ont été retenues :

- **Les émissions du cycle LTO (Landing and Take-Off) des aéronefs tel que défini par l'OACI** - émissions lors des phases de roulage, d'atterrissage, de décollage et de montée ;
- **Les émissions des APU au poste avion** - le groupe de puissance auxiliaire est utilisé pour fournir de l'électricité et de la climatisation/chauffage à l'avion ;
- **Les émissions des engins spéciaux au sol communément appelés GSE (Ground Services Equipment)** - Ces engins interviennent au poste avion pour approvisionner, décharger, entretenir l'aéronef au cours de l'escale. Les émissions associées à l'avitaillement des avions ont également été ajoutées dans le présent inventaire ;
- **Les émissions du trafic routier** - en zone réservée coté piste et en zone publique ;
- **Les émissions du trafic ferroviaire** - comprenant à Paris-Charles de Gaulle le TGV, RER, ainsi que la ligne CDGVAL ;
- **Les émissions de centrales thermiques** - ces centrales permettent la production d'eau chaude et d'eau froide utilisées notamment pour le chauffage et la climatisation dans les terminaux pour les plateformes de Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly ;

³ Airport Air Quality Manual, International Civil Aviation Organization, CAEP10 Steering Group 2015 Approved Revision

⁴ https://www.parisaeroport.fr/docs/default-source/groupe-fichiers/rse/rapports-rse/adp-emissions-de-co2-et-plan-d-actions-2019.pdf?sfvrsn=fd49cebd_0

⁵ ICAO, Airport Air Quality Manual, Doc 9889, Second Edition, 2020

- **Les émissions liées aux essais moteurs des aéronefs** – et concernent le banc d'essais moteurs de nouvelle génération positionné sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle.

c) Les évolutions contenues dans cet inventaire

L'inventaire des émissions atmosphériques 2022 est une compilation des méthodes présentées dans les inventaires précédents et actuel. Il intègre également des améliorations des connaissances concernant les sources, les facteurs d'émission ainsi que sur les méthodologies appliquées faisant consensus au sein la communauté scientifique.

L'ensemble des évolutions techniques et des méthodes concernant le présent inventaire est disponible en Annexe 1 et 2. En synthèse, les changements principaux apportés à l'inventaire actuel, par rapport aux précédents, sur le triplet source/polluant/plateforme sont listés ci-dessous :

- Assistants en escale (GSE dont GPU) :
 - Calcul des émissions sur la plateforme Paris-Le Bourget ;
- Avitaillement en carburant des avions sur les trois plateformes franciliennes.

A noter que cet inventaire tient compte des dernières versions mises à jour disponibles des bases de données de facteurs d'émission pour l'ensemble des sources. Ceci peut occasionner quelques changements mineurs (sur les méthodes et les émissions) par rapport aux inventaires précédents.

d) Les approches utilisées selon le niveau de détail disponible

L'estimation des émissions, pour chacun des triplets source/polluant/plateforme, dépend des données d'entrée nécessaires au calcul, en particulier leur fiabilité et leur précision. Quel que soit le type d'émission considérée, il est généralement admis, dans les méthodologies reconnues, nationale et internationale, de calcul des émissions, l'utilisation de trois approches, de la plus majorante à la plus réaliste, dont le degré de sophistication ou de complexité augmente avec le niveau de détail disponible sur les données d'entrée.

A titre d'exemple, dans le cadre du calcul des émissions sur le cycle avion LTO retenu dans cet inventaire et développé par l'OACI, trois niveaux d'approche sont utilisés et synthétisés dans le Tableau 1 : simple, avancée et sophistiquée. Le tableau suivant précise également trois critères (complexité, précision et confiance) qui permettent de comparer les trois approches entre elles :

- L'approche simple est l'approche la moins compliquée en considérant un mouvement comme l'ensemble des phases d'un cycle LTO sans distinction (option A). Elle requiert une quantité minimale de données et fournit le plus haut niveau d'incertitude, entraînant souvent une surestimation des émissions avions. L'approche utilise des informations publiques et des tableaux de données, facilement accessibles dans la chaîne d'exploitation aéroportuaire. Cette approche nécessite un minimum d'informations spécifiques aux aéroports. Les seules données propres à l'aéroport requises sont le nombre de mouvements avions, par type (ou catégorie) ou selon les moteurs principaux utilisés.
- L'approche avancée reflète un niveau plus avancé par rapport à l'approche simple, concernant les types avions, les types de moteurs, les facteurs d'émission et le temps passé dans chacune des phases du cycle LTO (atterrissage, roulage, parking, décollage). Cette approche nécessite des informations spécifiques liées à l'aéroport, qualifiées, consolidées et disponibles. Elle reflète les conditions locales de l'exploitation en intégrant, dans le calcul des émissions, une évaluation des performances avion. Ces améliorations permettent d'obtenir une estimation des émissions précises mais restent globalement majorantes.
- L'approche sophistiquée représente au mieux les émissions réelles des avions. Il s'agit de l'approche la plus complète qui requiert un accès complet aux données de l'aéroport, offrant ainsi le plus haut niveau de certitude. Cette approche utilise les données réelles de performances opérationnelles des moteurs avions. Elle nécessite donc une grande connaissance des opérations au niveau de l'exploitation et notamment l'utilisation de données propriétaires ou de données ou modèles qui peuvent être difficilement accessibles.

Tableau 1 : Caractéristique des différents niveaux d'approche pour un inventaire d'émissions d'après le guide de l'OACI (2020)⁶.

Caractéristiques	Approche Simple	Approche Avancée	Approche sophistiquée
Complexité	Connaissances basiques requises, les données nécessaires sont simples, standards et disponibles ; méthodologie de calculs simple	Connaissances avancées, spécifiques à l'aéroport et/ou l'accès à des sources de données supplémentaires est requis	Connaissances en profondeur, la coopération entre différentes entités et/ou l'accès à des données confidentielles est requise
Précision	Généralement majorante	Bonne	Très élevée
Confiance	Bas	Moyenne	Haute

En synthèse, pour chacune des sources considérées, l'inventaire, présenté dans ce document, repose sur des données d'entrée qualifiées et consolidées, satisfaisant aux exigences nécessaires à l'approche méthodologique de calcul des émissions la plus fine et détaillée possible, tout en considérant un niveau de confiance le plus élevé.

En complément, la production de cet inventaire s'appuie sur des audits réguliers⁷ des méthodes de calculs et des données d'entrées utilisées. Ces audits, opérés en interne et, de façon ponctuelle, par des sociétés extérieures, permettent d'orienter les travaux déjà menés et ceux, futurs, vers une amélioration concernant la prise en compte des émissions, ainsi qu'une meilleure connaissance des sources, fruit de collaborations entre les services internes et les parties prenantes externes au Groupe ADP.

e) Contenu du document

Le document présente le travail fourni dans le cadre de la réalisation de l'inventaire des émissions pour l'année 2022 sur les trois plateformes aéroportuaires franciliennes.

La première partie regroupe les informations associées au trafic aérien sur les plateformes durant l'année 2022 avec en ligne de mire, l'analyse des tendances par rapport aux années antérieures (jusqu'à 5 ans) et leurs impacts potentiels sur les émissions de polluants issus des activités aéroportuaires.

De la seconde à la septième partie, les émissions sont détaillées par secteur d'activité.

La dernière partie est consacrée aux perspectives de développement et d'amélioration pour tendre vers une approche plus fine et sophistiquée de l'inventaire des émissions du Groupe ADP.

⁶ https://www.icao.int/publications/Documents/9889_cons_en.pdf

⁷ Inventaires audités le 13 novembre 2023 par la société Envisa.

Partie 1 : Le trafic aérien entre 2018 et 2022

Les visuels disponibles dans ce paragraphe illustrent l'évolution du trafic aérien sur les trois plateformes, Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget, sur les 5 dernières années (entre 2018 et 2022), en s'appuyant sur les bases de données consolidées et officielles publiées par le Groupe ADP.

La Figure 1 présente le nombre de mouvements avions commerciaux sur les différentes plateformes. L'analyse de ce graphique peut être résumé comme suit :

- Entre 2018 et 2019 : une augmentation du trafic aérien sur Paris-Charles de Gaulle de 3,6%. Une baisse sur Paris-Orly de 4,7% en raison des limitations de mouvements induites par la fermeture pour travaux de la principale piste de Paris-Orly (fermée le 28 juillet 2019 et réouverte le 2 décembre 2019) ainsi qu'aux effets de la faillite de la compagnie Aigle Azur qui a cessé ses activités à compter du 6 septembre 2019. Sur Paris-Le Bourget, une baisse comprise entre 4,6% est observée ;
- En 2020, et par rapport à 2019, les tendances sont, quelles que soit les plateformes, à la baisse traduisant l'impact, sur le trafic aérien, des conséquences liées à l'épidémie de Covid-19. Le nombre de mouvements avions a diminué de 38%, 57% et 62% sur Paris-Le Bourget, Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly, respectivement ;
- En 2021, le trafic total du Groupe ADP est en hausse par rapport à 2020. La reprise progressive du trafic se traduit par la réouverture des terminaux 2A, 2B, 2D, 2E, 2F, ainsi que le 2C depuis le 14 décembre 2021 sur Paris-Charles de Gaulle. Sur Paris-Orly, l'année 2021 est synonyme de la réouverture de l'ensemble des secteurs à l'exception des portes d'embarquement B d'Orly 1. Les évolutions du trafic par plateforme sont décrites comme suit :
 - Sur Paris-Charles de Gaulle, le trafic est en hausse de +17,8% par rapport à 2020 mais reste inférieur à l'année 2019 (-49,8%) ;
 - Sur Paris-Orly, le trafic est en hausse de +42,8% par rapport à 2020 mais reste inférieur à l'année 2018 (- 45,7%) ;
 - Sur Paris-Le Bourget, le trafic est en hausse de +55,4% par rapport à 2020. A la différence des deux autres plateformes, le trafic est remonté fortement pour atteindre un niveau légèrement inférieur à l'année 2019 (-4,4%) ;
- En 2022, la reprise du trafic continue sur l'ensemble des plateformes. Cette progression particulièrement dynamique au second semestre de l'année n'a pas été particulièrement impactée : ni sur Paris-Charles de Gaulle par les fermetures du terminal 1 pour cause de travaux (réouverture le 1^{er} décembre 2022), du terminal 2G (jusqu'au 14 avril 2022), du terminal 3 (jusqu'au 3 mai 2022) ; ni sur Paris-Orly avec la réouverture de la porte B d'Orly le 5 avril 2022. On note également que le conflit entre la Russie et l'Ukraine n'a que peu d'impact sur le trafic des trois plateformes franciliennes à l'exception du fret qui montre un léger ralentissement. Les évolutions du trafic par plateforme sont décrites comme suit :
 - Sur Paris-Charles de Gaulle, le trafic est en hausse de +61,1% par rapport à 2020 mais reste inférieur à l'année 2019 (-19,1%) ;
 - Sur Paris-Orly, le trafic est en hausse de +65,1% par rapport à 2020 mais reste inférieur à l'année 2018 (- 14,5%) ;
 - Sur Paris-Le Bourget, le trafic est en hausse de +23,2% par rapport à 2020. A la différence des deux autres plateformes, le trafic est remonté fortement et dépasse le trafic sur l'année de référence (2019) : +17,8%.

Nom de la plateforme ● CDG ● LBG ● ORLY

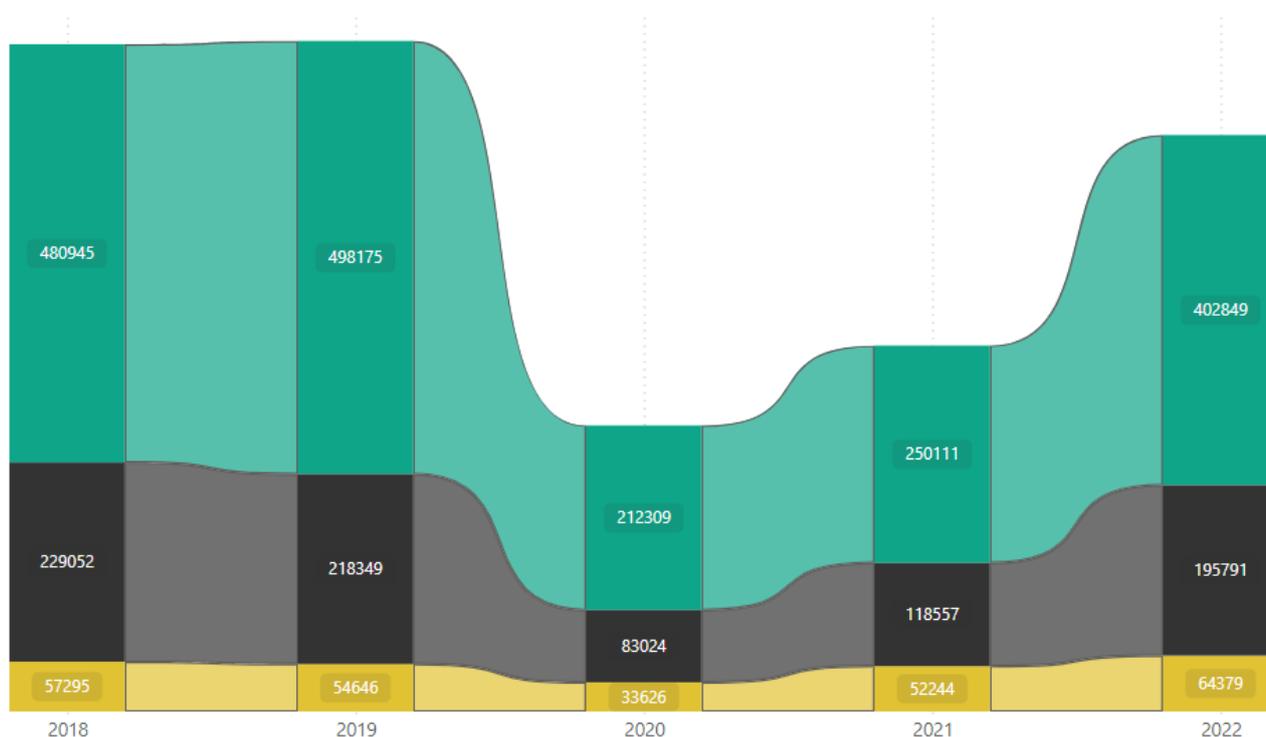


Figure 1 : Evolution pluriannuelle du nombre de mouvements sur les plateformes de Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget entre 2018 et 2022

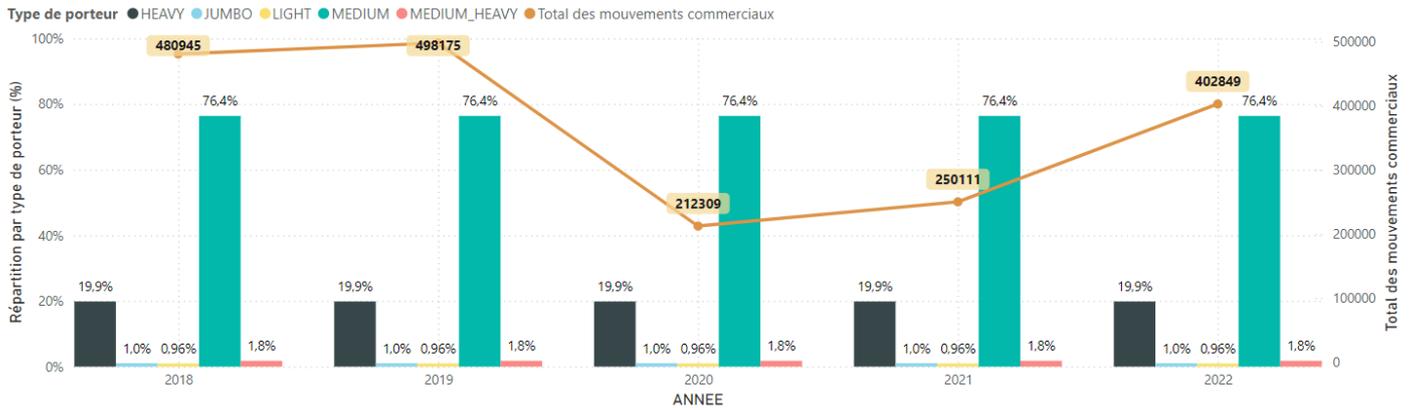
Dans la suite de ce paragraphe, sont présentées les évolutions, entre 2018 et 2022, du nombre de mouvements avions commerciaux par catégorie. Il s'agit de celles utilisées par le Groupe ADP et découlent de la nomenclature de l'OACI et de la FAA :

- LIGHT : regroupe les petits porteurs comme par exemple: Cessna C172, Embraer Phenom 100, etc. ;
- MEDIUM : regroupe les avions moyen-porteurs; par exemple : boeing B737-500, Bombardier CS300, etc. ;
- MEDIUM-HEAVY : regroupe les moyen porteurs les plus lourds ainsi que quelques gros porteurs relativement légers (ex : Boeing B757-200, Lockheed L-100 Hercules, etc.) ;
- HEAVY : regroupe les gros-porteurs (ex : Boeing B747-200) ;
- Enfin une dernière catégorie a été considérée, JUMBO, concernant les avions à fuselage large ou avions très gros-porteur (ex: Airbus A380-800).

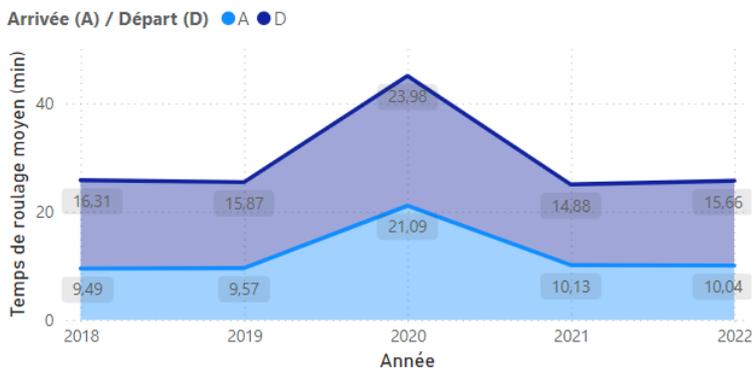
La liste des avions associés aux types de porteurs LIGHT, MEDIUM, MEDIUM-HEAVY, HEAVY et JUMBO est présentée, par plateforme, en Annexe 3.

Les figures suivantes présentent le temps de roulage moyen observé au départ et à l'arrivée ; le nombre de passagers (PAX), les tonnages de fret et de courrier annuel ; ainsi que le nombre de passagers moyen par avion commercial. A noter que seules les plateformes Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly sont concernés par ce niveau de détail. La plateforme Paris-Le Bourget, compte tenu de ses spécificités (aviation d'affaire principalement), ne permet pas de disposer de cette granularité notamment le nombre de passagers, le détail des catégories avion, l'heure de la sortie et de l'entrée au point de parking ainsi que l'heure de levé et de touché des roues.

Répartition par type de porteur (%) et total des mouvements commerciaux par année



Evolution des temps de roulage par arrivée et départ en minutes



Tonnage en courrier et fret et nombre de passagers par année

Année	Service Fret (tonnes)	Service Courrier (tonnes)	Nombre de passagers
2018	1 975 145	181 182	72M
2019	1 926 841	175 092	76M
2020	1 640 122	110 518	22M
2021	1 957 273	105 159	26M
2022	1 847 660	77 911	57M

Nombre de passagers moyen par avion commercial et par trimestre

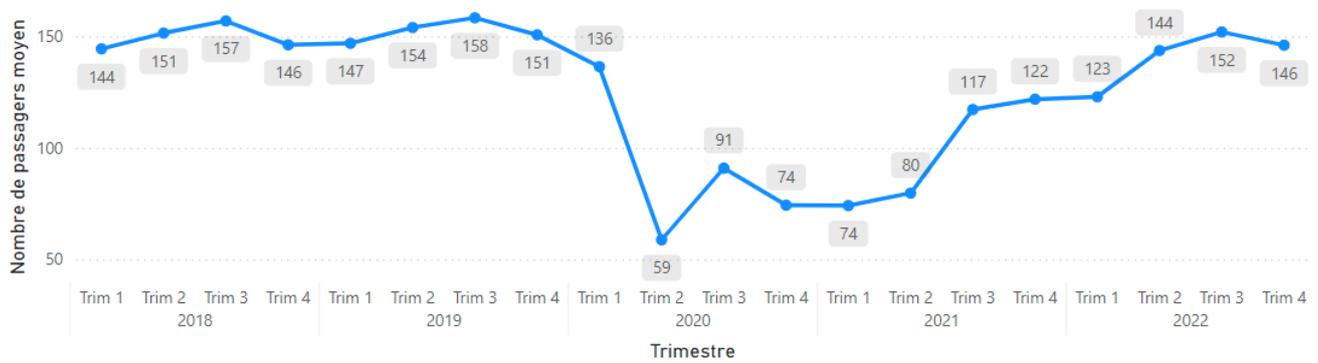
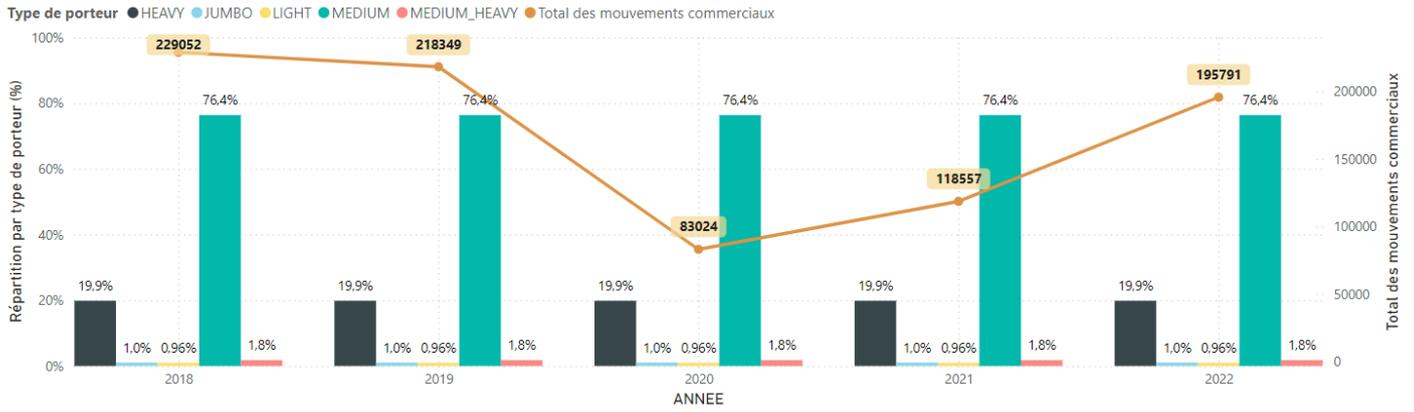
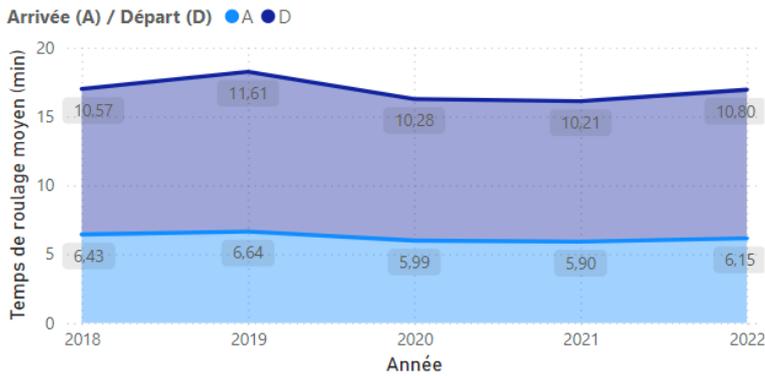


Figure 2 : Synthèse des données du trafic aérien entre 2018 et 2022 sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle

Répartition par type de porteur (%) et total des mouvements commerciaux par année



Evolution des temps de roulage par arrivée et départ en minutes



Tonnage en courrier et fret et nombre de passagers par année

Année	Service Fret (tonnes)	Service Courrier (tonnes)	Nombre de passagers
2018	86 204	9 198	33M
2019	89 408	9 934	32M
2020	54 724	6 476	11M
2021	73 751	7 285	16M
2022	76 533	6 607	29M

Nombre de passagers moyen par avion commercial et par trimestre

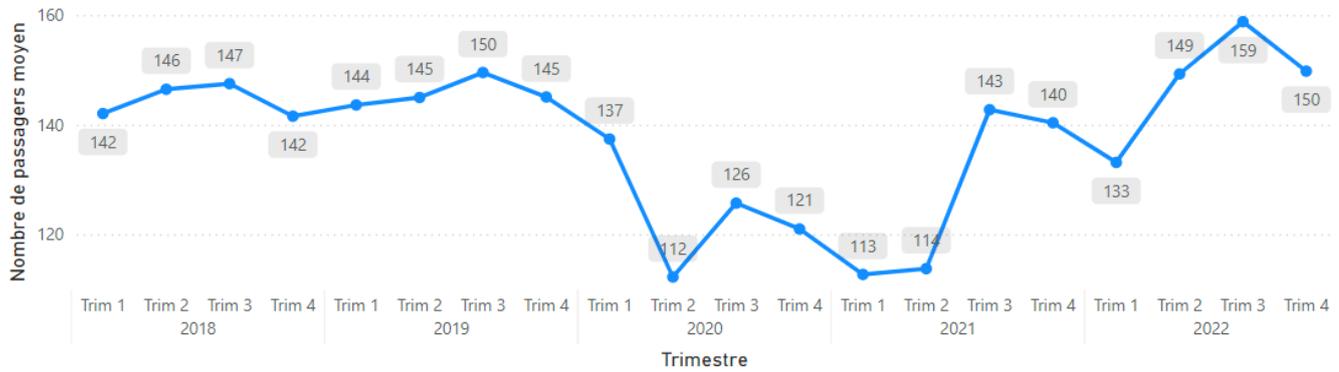


Figure 3 : Synthèse des données du trafic aérien entre 2018 et 2022 sur la plateforme Paris-Orly

Partie 2 : Les émissions avions (cycle LTO)

Les émissions associées aux avions sont calculées à partir des données de trafic et du type de flotte d'aéronef propre à chacune des trois plateformes franciliennes. Les sources et le type de donnée utilisées sont présentés dans la section suivante.

a) Les données de trafic avions pour l'année 2022

Les émissions présentées dans ce rapport sont basées sur le nombre de mouvements commerciaux publié par le Groupe ADP⁸. Pour 2022, le nombre de mouvement avion (de type commercial) par plateforme est présenté dans le Tableau 2 suivant :

Tableau 2: Nombre de mouvements avions par plateforme en 2022

Paris-Charles de Gaulle	402 849
Paris-Orly	195 791
Paris- Le Bourget	64 379

Pour chaque mouvement, le Laboratoire du Groupe ADP exploite les informations suivantes (liste non-exhaustive) :

- Horodatage : Date, heure, minute (atterrissage/décollage/entrée et sortie du parking avion) ;
- Type de mouvement (Arrivée, Départ) ;
- Compagnie aérienne ;
- Caractère du vol (Commercial, Non Commercial, Privé, Militaire, Etat) ;
- Etat du vol (Réalisé, Déroulé, Normal, Retour forcé, Avancé) ;
- Type de vol (Passager, Cargo, Technique, Poste...) ;
- Terminal et poste de stationnement ;
- Type de porteur selon la classification : JUMBO, HEAVY, MEDIUM_HEAVY, MEDIUM, LIGHT (Annexe 3) ;
- Type avion (A320, A318...) ;
- Immatriculation ;
- Temps de roulage réel vol à vol : en minutes (défini comme le temps entre le touché des roues et l'entrée au point de parking pour le temps de roulage "arrivée" et comme le temps entre la sortie du point de parking et la levée des roues pour le temps de roulage "départ").

A l'exception du nombre de mouvements, aucune synthèse des données du trafic aérien n'est présentée pour la plateforme de Paris-Le Bourget. En effet, compte tenu des spécificités de cette plateforme (aviation d'affaire) le nombre de passagers, le détail des catégories avion, l'heure de la sortie et de l'entrée du point de parking ainsi que l'heure de levé et de touché des roues ne sont pas répertoriés dans la base de données trafic utilisée par le Laboratoire du Groupe ADP. De fait, pour la plateforme de Paris-Le Bourget, les temps de roulage ne peuvent pas être calculés vol à vol, ils sont estimés⁹ en moyenne à 5 minutes à l'arrivée et 5 minutes au départ.

⁸ <http://www.parisaeroport.fr/groupe/finances/rerelations-investisseurs/trafic>

⁹ Estimation d'après un groupe de travail Airparif/DGAC/Groupe ADP

b) Le cycle atterrissage – décollage : LTO

Dans le cadre d'une certification des émissions calculées sur une plateforme aéroportuaire, l'OACI a défini une référence spécifique couvrant, de façon simplifiée, la circulation d'un avion aux abords d'un aéroport, jusqu'à une extension verticale de 914 m (3 000 ft) – hauteur standardisée pour prendre en compte les émissions polluantes susceptibles d'impacter les populations et l'environnement direct de la plateforme aéroportuaire.

Ce cycle est communément appelé cycle LTO (Landing and Take-Off) et composé de quatre phases modales pour représenter l'approche, le roulage, le décollage, ainsi que la montée de l'avion (un exemple est présenté sur la Figure 4). L'une des simplifications du cycle LTO suppose que, pour chaque phase, la puissance, la trajectoire et la vitesse de l'avion restent inchangées. En considérant des pentes et des vitesses homogènes, la hauteur de 914 m détermine la durée que passe l'avion dans chacune des phases de vol du cycle LTO ainsi que la distance maximale des émissions prises en compte dans l'inventaire par rapport à la plateforme.



Figure 4 : Exemple pour un cycle LTO en configuration d'atterrissage et décollage face à l'Est à Paris-Charles-de-Gaulle

Les émissions polluantes issues des réacteurs des avions sont calculées en fonction des différentes phases du cycle LTO. Les émissions de chaque phase sont calculées en tenant compte de trois paramètres :

- La durée, appelée Time In Mode (TIM) et exprimée généralement en minutes ;
- La puissance utilisée des moteurs, appelée dans ce document Thrust Setting (TS) renseignant le pourcentage de la puissance nominale moteur ;
- Le type ou modèle du ou des moteurs utilisés permettant de récupérer les facteurs d'émission, polluant par polluant, certifiés et disponibles depuis les bases de données de l'OACI notamment.

Durant le cycle LTO, l'inventaire présenté ici prend en compte la génération de particules en suspension provenant de l'usure des pneumatiques, des freins et des pistes - appelées dans la suite de cette section PM abrasion et regroupant les émissions de l'ensemble des particules en suspension selon trois catégories : PM₁₀, de PM_{2,5} et de TSP. Ces émissions sont indépendantes de la consommation de carburant et sont exprimées par rapport au nombre de cycles LTO sans autre distinction au cours du temps ou du type avion. La méthodologie utilisée ici est issue du document OMINEA du CITEPA¹⁰.

i) Méthodologie de calcul

Le Tableau 3 présente les différentes méthodologies de calcul possibles, pour estimer les émissions du cycle LTO en fonction du niveau de précision disponible sur les données d'entrée clefs telles que le détail sur la flotte, le nombre de mouvements avions par type, les temps passés par phase ainsi que les facteurs d'émission associés.

En synthèse, l'approche retenue dans cet inventaire est une combinaison des différentes approches proposées par l'OACI :

- Sophistiquée, pour la flotte et les mouvements avions en raison de la disponibilité des données d'immatriculation des avions ;
- Avancée, pour les temps passés dans la phase roulage du cycle LTO ainsi que pour les facteurs d'émission associés à la combustion des moteurs principaux ;

¹⁰ Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France. OMINEA – 20^e édition. CITEPA. Mai 2023
Inventaire 2022 des émissions atmosphériques - Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly, Paris-Le Bourget

- Simple, pour les temps passés dans les différentes phases vol (décollage, montée et atterrissage) pour lesquelles les valeurs standards recommandées par l'OACI ont été utilisées ; et pour les facteurs d'émission associés à la génération de particules en suspension liée à l'abrasion et l'usure des pneumatiques avions. Sur ce dernier point, l'état de l'art ne permet pas de disposer d'une granularité plus fine, par avion ou par type de pneumatique.

Tableau 3 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du cycle LTO (**en gras les approches retenues pour l'inventaire 2022**)

Ressources	Approche simple		Approche avancée	Approche sophistiquée
Flotte (aéronef/moteur combiné)	Identification des groupes types d'aéronefs		Identification des aéronefs associés à leurs types moteurs représentatifs (en %)	Identification des aéronefs associés à leurs types moteurs réels
Mouvement Avion	Nombre de mouvements par type avions		Nombre de mouvement par type avions-type moteurs	Nombre réel de mouvements par aéronefs (immatriculation)
Temps des phases du Cycle LTO	Base de données forfaitaires de l'OACI (Phases "Vol")		Utilisation des valeurs réelles pour chaque aéronef pour une ou plusieurs phases du cycle LTO (Phases "roulage")	Utilisation des valeurs réelles pour chaque aéronef pour l'ensemble des phases du cycle LTO
Facteurs d'émission	Emissions forfaitaires par cycle LTO (PM abrasion)	Facteurs d'émission associés à un type avion	Facteurs d'émission associés à un type moteur (NO_x, CO, COVNM, SO₂, PM combustion)	Base de données performante avec les données moteur actuelles et incluant les conditions ambiantes

Les émissions issues de la combustion lors du cycle LTO sont calculées par type de mouvement : "Arrivée" et "Départ" selon la méthodologie de calcul dite simplifiée (option B) décrite dans le guide OACI¹¹ avec les temps de roulage réels ou vol à vol calculés à partir de la différence entre les temps AOBT et AIBT. Pour les autres phases du cycle LTO, les émissions ont été calculées selon les temps moyens reportés dans le document cadre de l'OACI¹². Les émissions de particules issues de l'abrasion (pneus et freins) sont calculées par cycle LTO selon la méthodologie forfaitaire développée par le CITEPA¹³ (approche simple). L'application de ces méthodologies de calculs détaillée en Annexe 4, croisée avec les informations de trafic ont permis de déterminer les émissions annuelles issues de la combustion et de l'abrasion lors du cycle LTO pour les trois plateformes franciliennes.

¹¹ ICAO, Airport Air Quality Manual, Doc 9889, Second Edition, 2020 - pages 3-A1-12/13/14

¹² ICAO, Airport Air Quality Manual, Doc 9889, Second Edition, 2020 - Table 3-A1-1 → Temps de roulage = 26 minutes (7 minutes à l'arrivée et 19 minutes au départ)

¹³ Guide OMINEA – 20^e édition, mai 2023 (CITEPA). Chapitre Transport aérien p.276

ii) Résultats des calculs d'émissions

Les résultats des calculs des émissions pour le cycle LTO, sur chacune des plateformes (Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget) et sur les 5 dernières années (à date de l'inventaire 2022), sont présentés dans la suite de ce paragraphe.

Les émissions sont illustrées selon deux visuels. Un premier graphique qui détaille les émissions associées à la combustion des moteurs principaux et un second, proposant les émissions issues des phénomènes d'abrasion (concernent uniquement les émissions de particules).

• Paris-Charles de Gaulle

L'évolution pluriannuelle des émissions issues de la combustion (COVNM, NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2.5}) et de l'abrasion (TSP, PM₁₀, PM_{2.5}) lors du cycle LTO à Paris-Charles de Gaulle est présentée dans les Figure 5 et Figure 6. (Tableau chiffré en Annexe 5).

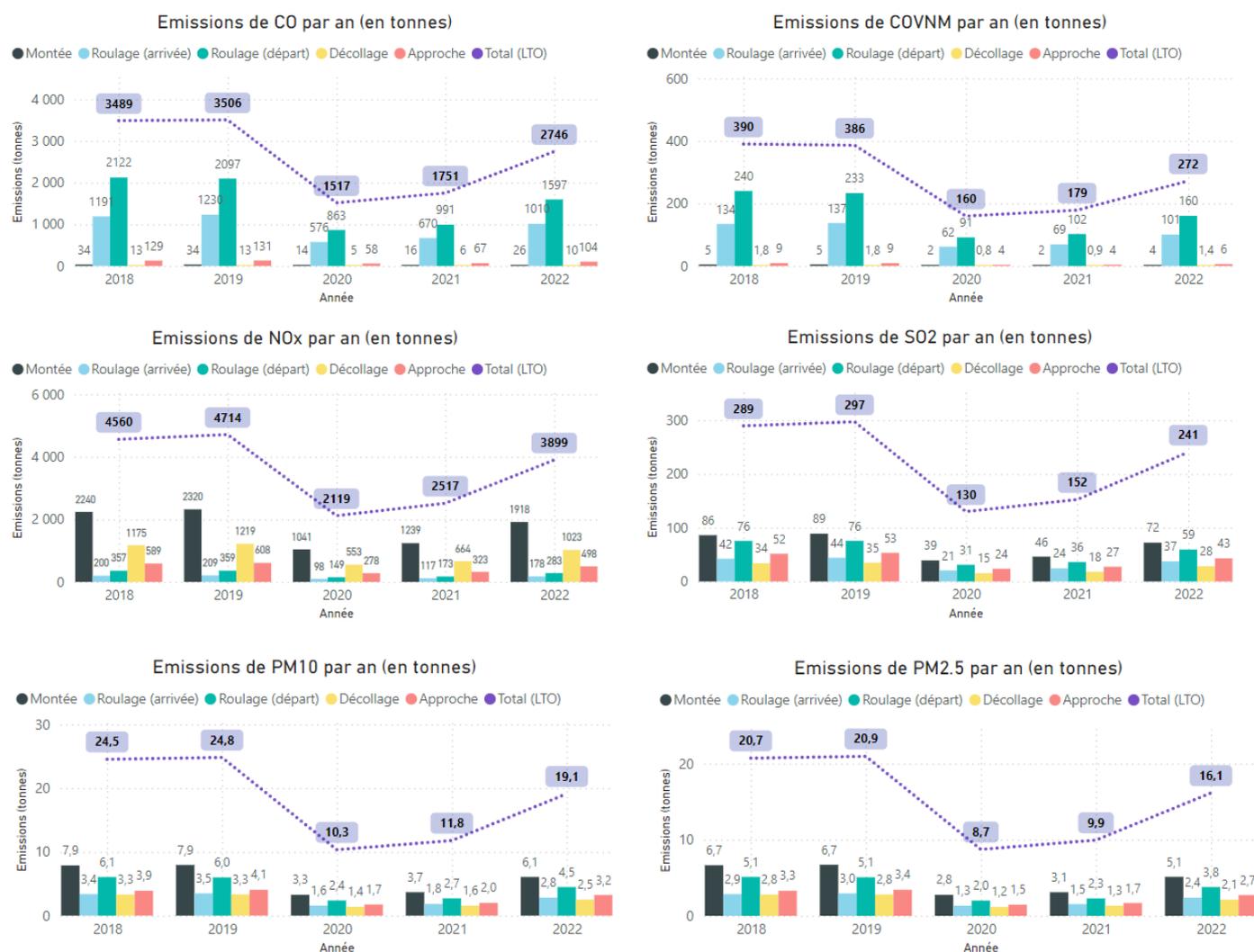


Figure 5 : Evolution des émissions par polluant (CO, COVNM, NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}) détaillée par phase du cycle LTO à Paris-Charles de Gaulle

Emissions de particules (abrasion) par an (tonnes)

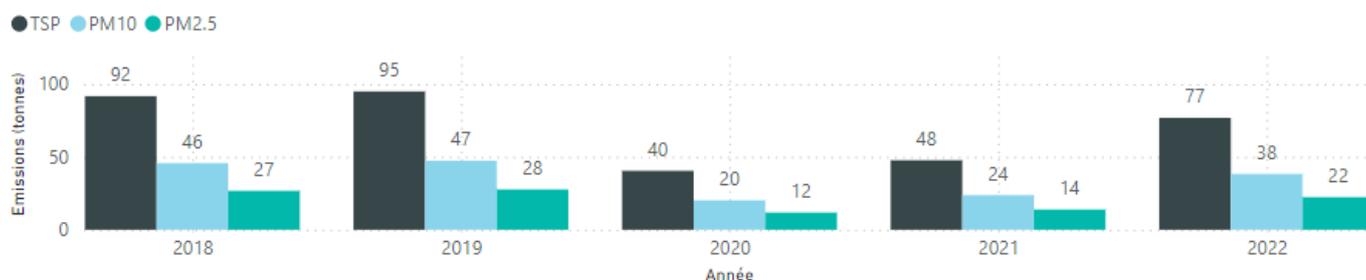


Figure 6 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM₁₀, PM_{2.5}) à Paris-Charles de Gaulle

A Paris-Charles de Gaulle, la tendance entre 2018 et 2020 est marquée par :

- Des émissions de COVNM et de CO en légère baisse entre 2018 et 2019 (en raison des baisses de temps de roulage moyen observées au départ sur cette période) puis une baisse importante plus importante en 2020 résultant d'un nombre de mouvements plus faible par rapport à l'année 2019 (-57%) ;
- Les émissions de NO_x et de SO₂ sont plus importantes lorsque la poussée moteur est élevée en particulier lors des phases de décollage et de montée. Par conséquent, ces émissions sont fortement corrélées au nombre de mouvements (plus précisément au nombre de départ). On observe ainsi une augmentation des émissions entre 2018 et 2019 puis un décrochage marqué en 2020 due aux restrictions sanitaires ;
- Les émissions de poussières (PM₁₀ et PM_{2.5}) lors de la combustion de carburant sont distribuées de façon homogène sur l'ensemble des phases du cycle LTO, impliquant un rôle déterminant de la durée de chacune d'entre elles. On note une augmentation des émissions entre 2018 et 2019 puis une baisse importante en 2020. A noter que les émissions liées à la combustion de carburant sont plus faibles que celles résultantes du contact des roues avec la chaussée lors de l'atterrissage des avions.

L'année 2021 est symbolisée par une reprise progressive des activités sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle par rapport à l'année 2020 avec une augmentation du nombre de mouvements (+18%), nombre restant largement inférieur à l'année de référence, 2019 (-50%). Cette tendance à la hausse se traduit par une augmentation des émissions par rapport à l'année 2020 de l'ensemble des polluants comprise entre 6 et 11%. Ces augmentations ont une variabilité faible qui s'expliquent par des temps de roulage similaires entre les deux années (+2,1 et -0,1% à l'arrivée et au départ, respectivement). Par rapport à l'année de référence 2019, les émissions sont à la baisse avec des variations comprises entre -47% et -55% selon les polluants.

En 2022, la reprise du trafic aérien se poursuit, avec une dynamique plus importante qu'en 2021 et des trafics se rapprochant de ceux de l'année 2019 (-19,1%). Par conséquent, quel que soit les polluants, on assiste à une hausse des émissions par rapport à 2021 comprise entre +53 et +57%. Par rapport à l'année de référence 2019, les émissions polluantes sont toujours inférieures et comprise entre -19 et -31%.

• Paris-Orly

L'évolution pluriannuelle des émissions issues de la combustion (HC, NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2.5}) et de l'abrasion (TSP, PM₁₀, PM_{2.5}) lors du cycle LTO à Paris-Orly est présentée dans les Figure 7 et Figure 8 suivantes (tableau chiffré en Annexe 6).

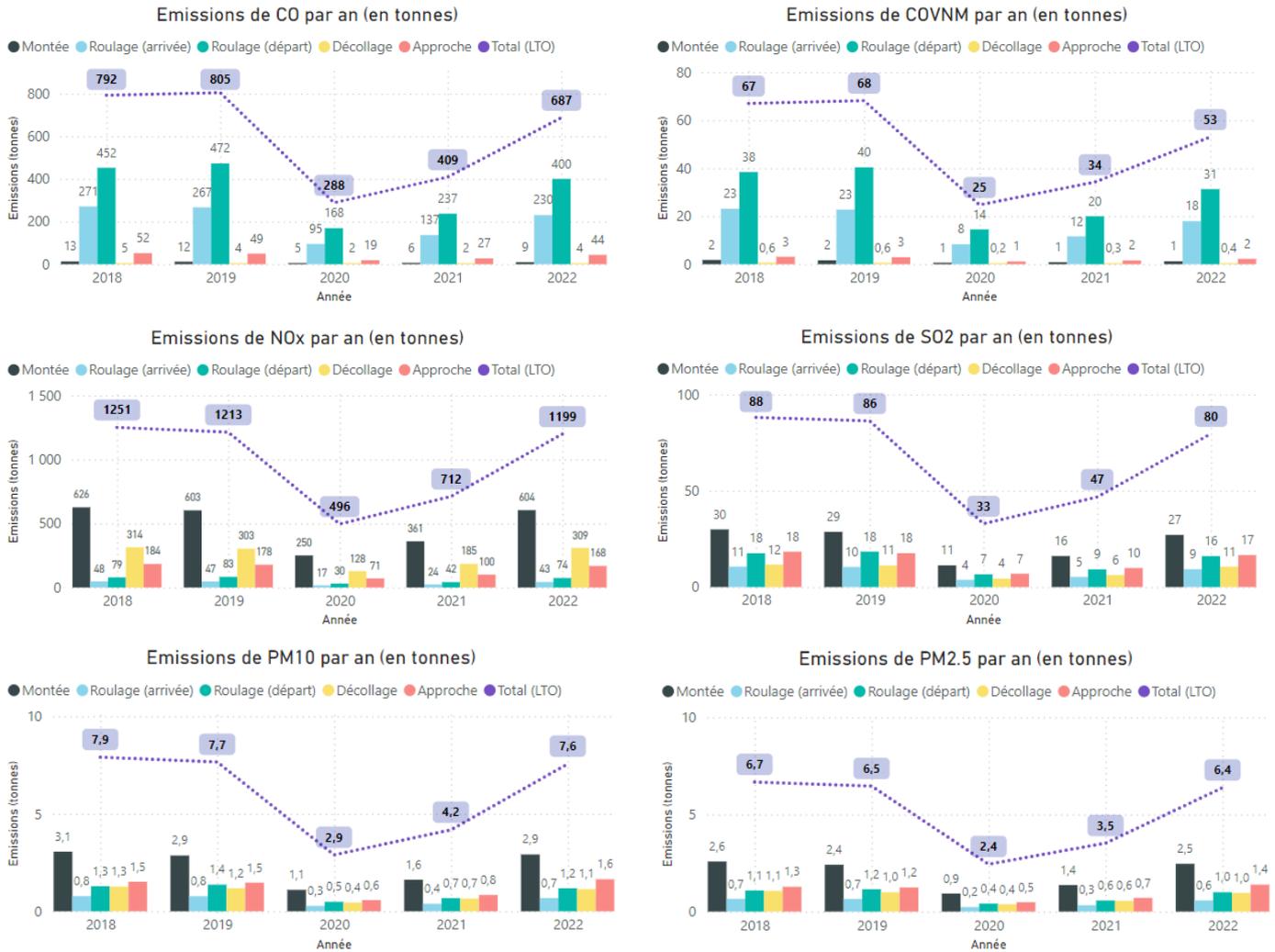


Figure 7 : Evolution des émissions par polluant (CO, COVNM, NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}) détaillée par phase du cycle LTO à Paris-Orly

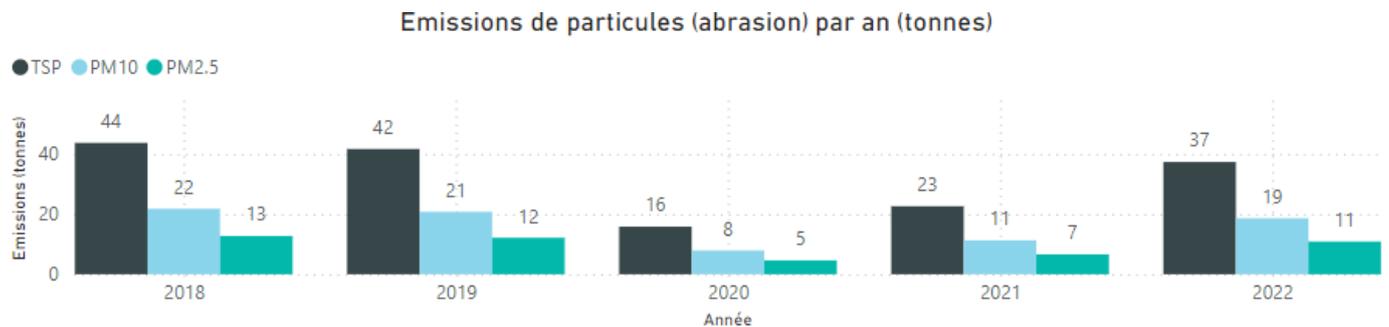


Figure 8 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM₁₀, PM_{2.5}) à Paris-Orly

A Paris-Orly, la tendance entre 2018 et 2020 est marquée par :

- Une stabilisation des émissions pour l'ensemble des polluants, en raison d'un nombre de mouvements avions globalement constant quelle que soit l'année (variation de l'ordre de 3%). On peut noter toutefois que la baisse du nombre de mouvements avions en 2019 (-5% par rapport à 2018) se traduit par une baisse du même ordre de grandeur pour les polluants particulièrement émis lors des phases de décollage et de montée. Pour les autres polluants, émis plus particulièrement lors de la phase de roulage, les diminutions sont moins marquées (-3% pour le

CO à titre d'exemple). Ceci résulte d'une compensation partielle des émissions supplémentaires générées par une augmentation des temps de roulage (augmentation entre 2018 et 2019 : +10% au départ et +3% à l'arrivée). On rappelle ici que l'évolution du temps de roulage moyen et du trafic avion à Paris-Orly en 2019 est due à la fermeture exceptionnelle, durant 5 mois, de la piste 3 de Paris-Orly pour travaux.

- En raison de la crise sanitaire mondiale, l'année 2020 est marquée par une baisse significative du nombre de mouvements à Paris-Orly (- 135 325 mouvements par rapport à l'année 2019, soit environ une baisse de 62%), entraînant une diminution notable des émissions de l'ensemble des polluants suivis dans cet inventaire (NO_x, CO, SO₂ et COVNM, PM₁₀ et PM_{2.5}) et comprise entre - 59 et - 64% (baisse plus significative pour les polluants dont les contributions des émissions dues au roulage sont d'autant plus importantes).

L'année 2021 est marquée par une reprise des activités aéroportuaires plus importante sur Paris-Orly que sur Paris-Charles de Gaulle (+43% par rapport à 2020 contre +18% sur Paris-Charles de Gaulle). Le nombre de mouvements restent toutefois inférieur à l'année de référence 2018 (-48%). Ainsi :

- Par rapport à 2020, les émissions sont en hausse et comprise entre +36% à +40% selon les polluants – augmentations relativement contenues en raison de la baisse des temps de roulage (-2% et -1% à l'arrivée et au départ) ;
- Par rapport à l'année de référence 2018, les émissions sont toujours plus faibles et comprises entre -43% et -50% selon les polluants.

En 2022, la reprise des activités amorcée en 2021, continue (+65% par rapport à 2021 et -15% par rapport à 2019) et cette progression reste analogue à celle de Paris-Charles de Gaulle. Par conséquent, les émissions sont en augmentation et elles sont comprises entre +56 et +73% par rapport à 2021, mais restent inférieures à celles de l'année de référence (2018) et comprises entre -5 et -22% selon les polluants.

• **Paris-Le Bourget**

L'évolution pluriannuelle des émissions issues de la combustion (COVMN, NOX, CO, PM₁₀, PM_{2.5}) et de l'abrasion (TSP, PM₁₀, PM_{2.5}) lors du cycle LTO à Paris-Le Bourget est présentée dans les Figure 9 et Figure 10 suivantes (tableau chiffré en Annexe 7).

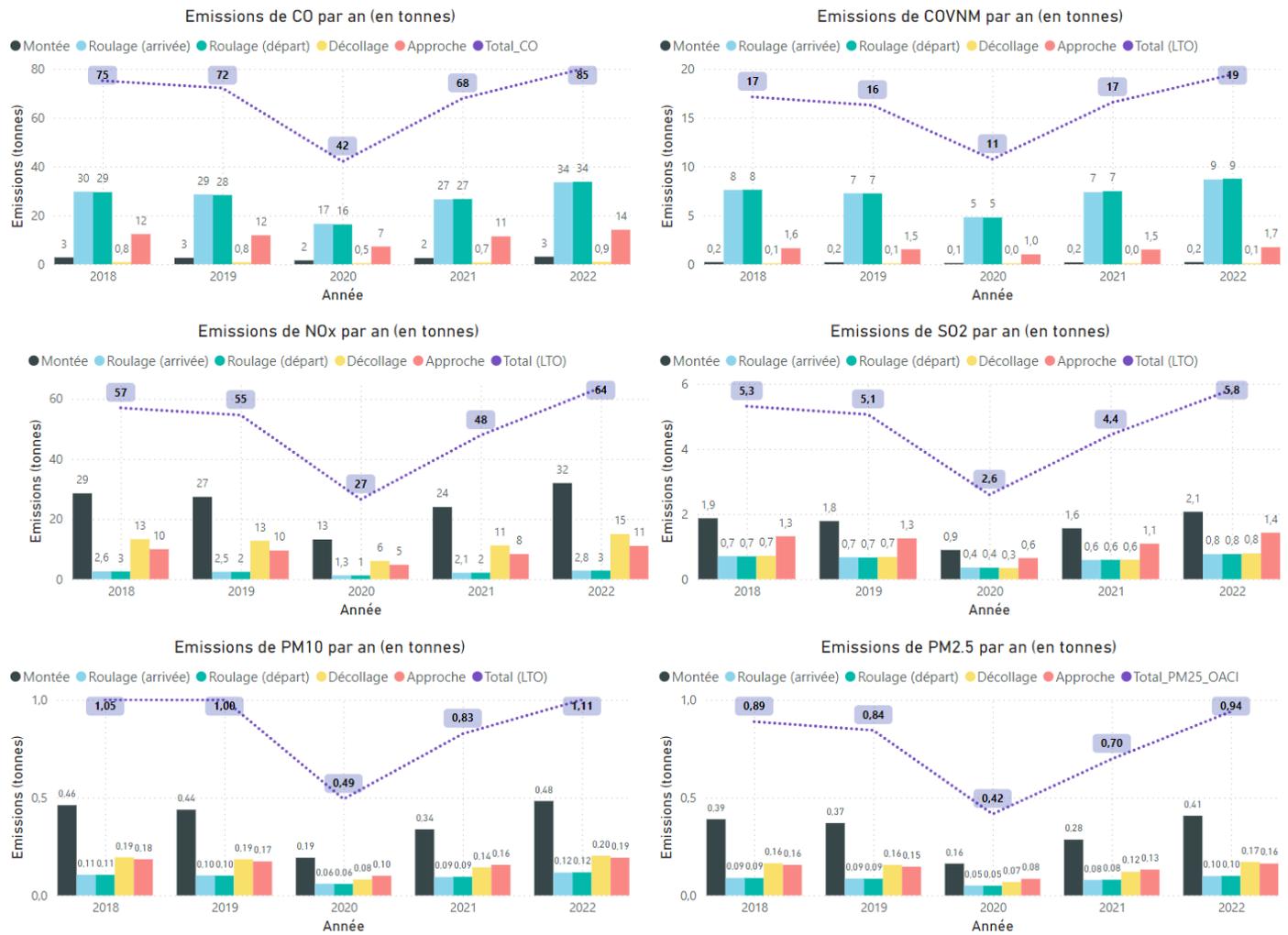


Figure 9 : Evolution des émissions par polluant (CO, COVMN, NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}) détaillée par phase du cycle LTO à Paris-Le Bourget

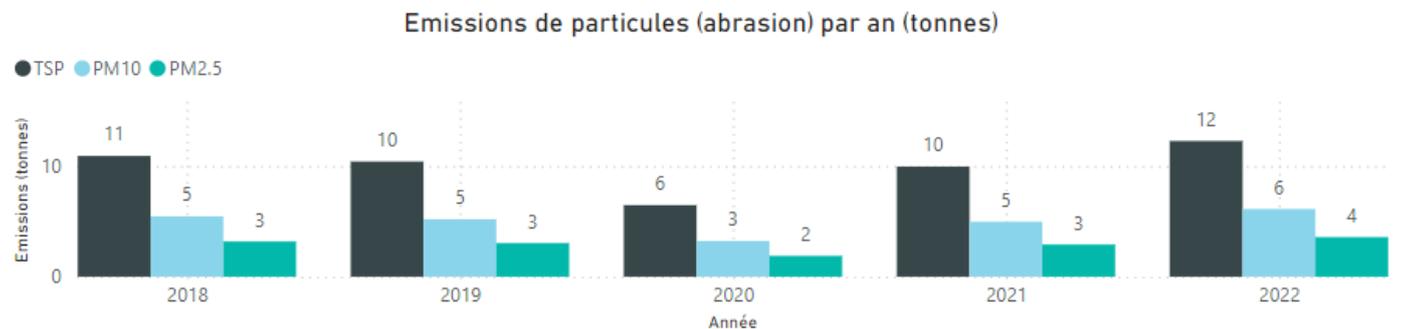


Figure 10 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM₁₀, PM_{2.5}) à Paris-Le Bourget

Les variations interannuelles sont dépendantes du nombre de mouvements, de la composition de la flotte d'avions pour l'année considérée et des temps de roulage. A Paris-Le Bourget, en l'absence d'information vol à vol, les temps de roulage sont estimés à 5 minutes à l'arrivée et 5 minutes au départ, il n'y a donc pas de différences entre les émissions du roulage à l'arrivée et au départ.

La tendance entre 2018 et 2020 est marquée par une variation des émissions quel que soit le polluant directement proportionnelle au nombre de mouvements avions.

En 2021, l'aéroport Paris-Le Bourget présente un trafic proche de l'année de référence 2019 (-4%) avec 52 244 mouvements contre 54 646 en 2019. En synthèse, les émissions en 2021, par rapport à 2019, sont :

- En augmentation pour les COVNM (+6%), pour les PM₁₀ (+5%) ;
- En baisse pour le CO (-4%), les NOx (-11%) et le SO₂ (-12%).

Concernant l'année 2022, le trafic aérien sur la plateforme a dépassé celui de l'année de référence (2019) de 17,8%. Ceci se traduit par des émissions supérieures quel que soit le polluant à celles de l'année de référence. On observe ainsi des augmentations comprises entre +16 et +20% pour les polluants gazeux. Ces hausses sont analogues à la progression du trafic aérien durant l'année. Les différences restent imputables aux changements sur la flotte avion. Au sujet des particules (PM₁₀ et PM_{2,5}), les hausses sont plus faibles (+11 et +12% respectivement) et traduisent une utilisation de moteurs moins émissifs.

c) Les moteurs auxiliaires (APU) au poste

L'APU est un réacteur embarqué situé, en général, à l'arrière du fuselage de l'aéronef, fonctionnant au kérozène. Il s'agit d'un système indépendant qui opère notamment au sol en tant que support énergétique, ou en vol en cas d'urgence. Il est utilisé lorsque l'aéroport ne possède pas de groupes de parc qui permettent d'alimenter l'avion en électricité une fois stationné, par sécurité et par souci d'économie de carburant, les moteurs principaux étant éteints sur le tarmac.

L'APU possède plusieurs rôles un fois mis en route au sol : alimenter les systèmes électriques, fournir de l'air comprimé et démarrer les moteurs principaux. L'APU est également essentiel en vol dans les situations d'urgences notamment pour les vols ETOPS qui impliquent des vols sur des routes qui éloignent l'avion des aéroports de secours pendant une période prolongée. Les APU ayant reçu une certification ETOPS¹⁴ doivent pouvoir être démarrés dans tout le domaine de vol de l'avion, quelles que soit son altitude et sa vitesse¹⁵.

Le type de moteurs APU par catégorie d'aéronef (donné dans la littérature) et le temps d'utilisation des APU au sol par mouvement sont nécessaires pour réaliser les calculs d'émissions.

Sur les plateformes franciliennes, l'utilisation de l'APU est réglementée par l'arrêté du 27 juillet 2012¹⁶. Il réglemente l'utilisation des moyens permettant aux aéronefs de s'alimenter en énergie et climatisation-chauffage lors de l'escale sur les aérodromes de Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget, en fonction du type de mouvements (arrivée ou départ), du poids de l'avion et du type de poste (équipés ou non de moyen de substitution à l'APU).

L'arrêté du 27 juillet 2012 indique notamment :

- Article 2 : une utilisation des APU limitée à 10 min avant l'heure réelle du départ et 5 min après l'heure réelle d'arrivée – lorsque les postes de stationnement sont équipés de moyens de substitution en électricité et en climatisation-chauffage ;
- Lorsque les postes de stationnement ne sont pas équipés de moyens de substitution en électricité ou en climatisation-chauffage :
 - Article 3 : A l'arrivée, la durée de fonctionnement des APU est limitée à 60 min et 80 min pour les appareils supérieurs à 140 tonnes (MTOW) ;
 - Article 4 : Au départ, la durée de fonctionnement des APU est limitée à 30 min ou au temps nécessaire au débarquement des passagers, aux opérations ;
 - Le commandant de bord peut déroger aux durées fixées aux articles 3 et 4 lorsque des motifs de sécurité le justifie (Article 5).

A noter que cet arrêté a été modifié le 28 juillet 2023¹⁷, il sera détaillé dans l'inventaire des émissions atmosphériques 2023.

i) Méthodologie de calcul

En fonction du niveau de connaissance et des informations disponibles, différentes approches de calcul peuvent être utilisées pour déterminer les émissions des APU au poste. Ces émissions sont calculées à partir de données d'activité (ici, le temps d'utilisation), des facteurs d'émission unitaires (exprimés en masse de polluant émis par unité de temps d'utilisation) et du nombre d'unités en fonctionnement.

L'approche, retenue dans cet inventaire, est issue du guide de l'OACI (2020) qui propose de classer les avions selon 6 catégories d'avions. Cette approche, dite avancée, intègre des facteurs d'émission unitaires pour différents modes de fonctionnement permettant de mieux caractériser l'utilisation des APU. On retrouve ainsi les modes de fonctionnement suivants :

- Démarrage ("Start-up") dont la durée moyenne est estimée à 3 min ;
- Normal ("Normal Running"), mode dédié à la préparation des avions, de l'équipage et de l'embarquement des passagers, au départ – et à la procédure de débarquement et éventuellement d'arrêt de l'avion, à l'arrivée ;

¹⁴ Extended-range Twin-engine Operational Performance Standards

¹⁵ Guide relatif à la gestion du maintien de la navigabilité et à l'entretien des aéronefs dans le cadre d'une exploitation ETOPS. DSAE. Edition 2.0. juin 2019

¹⁶ Article du 27 juillet 2012 réglementant l'utilisation des moyens permettant aux aéronefs de s'alimenter en énergie et climatisation-chauffage lors de l'escale sur les aérodromes de Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000026257685/>

¹⁷ Arrêté du 28 juillet 2023 relatif à l'utilisation des moteurs auxiliaires de puissance des aéronefs lors de l'escale sur l'aérodrome de Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000047995807>

Inventaire 2022 des émissions atmosphériques - Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly, Paris-Le Bourget

- Charge élevée ("high load") – mode de fonctionnement à plein régime nécessaire à l'allumage des moteurs principaux.

Selon le type de mouvement avion, arrivée ou départ, l'utilisation des APU est différente. On retrouve ainsi, au départ, les trois modes de fonctionnement des APU successifs : démarrage des APU, suivi par le mode normal – pour la préparation de l'avion et les APU en charge élevée pour l'allumage des moteurs principaux. A l'arrivée, seul le mode de fonctionnement normal est considéré jusqu'à extinction des moteurs auxiliaires.

Le Tableau 4 indique parmi les différentes méthodologies de calcul possibles, celle retenue pour le calcul des émissions APU dans cet inventaire (en gras dans le tableau).

Tableau 4: Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des APU au poste (**en gras les approches retenues pour l'inventaire 2022 pour Paris-Orly, Paris-Charles de Gaulle et Paris-Le Bourget**)

Ressources	Approche simple	Approche avancée	Approche sophistiquée
		Paris-Charles de Gaulle Paris-Orly Paris-Le Bourget	
APU	Utilisation de facteurs d'émission forfaitaire et des temps d'utilisation réglementaires (Cf. Arrêté du 27 juillet 2012 qui réglemente le temps d'utilisation maximum de l'APU, par type de poste et type d'aéronefs)	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de facteurs d'émission pour différentes catégories avion et différentes phases moteur de l'APU • Utilisation de temps moyens d'utilisation de l'APU par plateforme, par type de mouvements et par type avion (temps d'observation ACNUSA et temps retenus OACI selon les modes de fonctionnement) 	Données réelles du temps d'utilisation de l'APU et du modèle par avion en utilisant les données de vol. Prise en compte des différents régimes de fonctionnement de l'APU

Ainsi, quelle que soit la plateforme aéroportuaire, les facteurs d'émission unitaires utilisés sont issus du document guide de l'OACI selon l'approche avancée¹⁸. Pour le calcul des émissions APU, les types avions ont été assignés à un des six groupes qui caractérisent leurs émissions définies comme suit :

- Avions d'affaires / régionaux dont le nombre de sièges est inférieur à 100 ;
- Petits avions dont le nombre de sièges est compris entre 100 et 200 (anciens modèles) ;
- Petits avions dont le nombre de sièges est compris entre 100 et 200 (nouveaux modèles) ;
- Avions moyens dont le nombre de sièges est compris entre 200 et 300 (sans distinction sur le modèle avion) ;
- Gros porteurs dont le nombre de sièges est supérieur à 300 (anciens modèles) ;
- Gros porteurs dont le nombre de sièges est supérieur à 300 (nouveaux modèles).

Les facteurs d'émission unitaires décrits ci-dessus ont été associés à une donnée d'activité (temps d'utilisation de l'APU) dans son mode de fonctionnement spécifique. Les données de temps utilisés sont issues de l'étude réalisée par l'ACNUSA en 2020¹⁹. Cette étude propose une analyse statistique des procès-verbaux (PV) de renseignements administratifs dressés entre juillet 2014 et fin décembre 2019 lors des contrôles effectués, sur les temps d'utilisation APU, par la gendarmerie des transports aériens (GTA) dans le cadre de l'arrêté du 27 juillet 2012.

Sur la base de 1200 PV, cette étude reporte les temps médians d'utilisation des APU, ainsi que des histogrammes sur la répartition des temps d'utilisation, propres à chacune des plateformes franciliennes, tout en considérant deux catégories avions : court- / moyen-courrier et long-courrier. En conséquence, un travail d'agrégation de la répartition par type de porteur disponible au sein du groupe ADP a été réalisée de la façon suivante :

¹⁸ ICAO, Airport Air Quality Manual, Doc 9889, Second Edition, 2020 - page 3-A1-27 Table 3-A1-5

¹⁹ ACNUSA, Les groupes auxiliaires de puissance (APU) : Temps d'utilisation et réglementation – 9 septembre 2020

- Court- / moyen-courrier : LIGHT, MEDIUM, MEDIUM_HEAVY ;
- Long-courrier : HEAVY, JUMBO.

A noter que sur les deux approches retenues dans le calcul des émissions liées au fonctionnement des APU, il n'a pas été considéré un arrêt des moteurs auxiliaires en raison notamment de l'utilisation de moyens de substitution (unités fixes ou mobiles électrifiées). Les émissions calculées sur ce poste peuvent être considérées comme majorantes.

Différents paramètres et hypothèses, ont été pris en compte pour le calcul des émissions 2022. Une synthèse des hypothèses établies et des facteurs utilisés pour réaliser le calcul des émissions des APU est présentée en Annexe 8.

ii) Résultats des calculs d'émissions

L'évolution pluriannuelle des émissions des APU au poste (COVNM, NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂) à Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget sont présentées dans les Figure 11, Figure 12 et Figure 13 suivantes (tableaux chiffrés en Annexes 9, 10 et 11). Un niveau de détail approfondi est apporté dans ces visuels en intégrant la contribution sur les émissions calculées de chacune des catégories avions.

• Paris-Charles de Gaulle

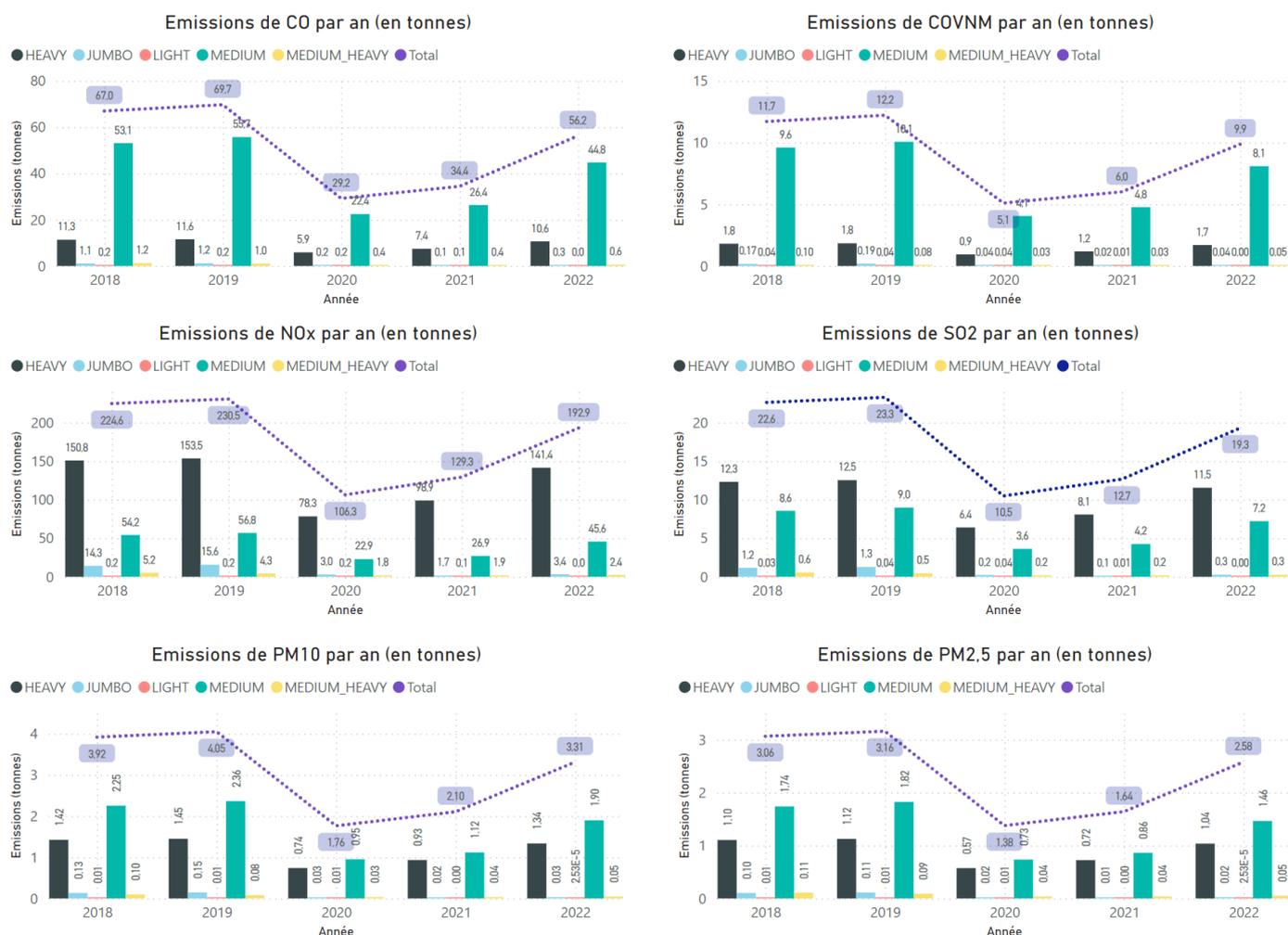


Figure 11 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO_x, COVNM, CO, PM₁₀, PM_{2.5}, et SO₂ (en tonnes) des APU au poste à Paris-Charles de Gaulle

Sur Paris-Charles de Gaulle, la tendance entre 2018 et 2019 est marquée, pour l'ensemble des polluants, par une légère augmentation des émissions directement corrélée à l'accroissement du nombre de mouvements avions observé sur cette période.

Comme attendu, en 2020, en raison de la baisse significative du nombre de mouvements à Paris-Charles de Gaulle, les émissions des polluants sont réduites par rapport à l'année 2019 de plus de 50%.

En 2021, la reprise progressive du trafic conduit à une augmentation globale des émissions par rapport à l'année 2020 comprise entre 18 et 20% selon les polluants.

Par rapport à l'année de référence 2019, les émissions sont toujours plus faibles et dont les variations se situent entre -44 et -51%.

En 2022, la croissance du trafic se poursuit avec pour impact une augmentation des émissions pour l'ensemble des polluants :

- En hausse par rapport à 2021 avec des variations comprises entre +49 et +70% ;
- Toujours plus faibles, par rapport à l'année de référence (2019), avec des variations comprises entre -12 et -19%.

Enfin, quel que soit l'année, la contribution relative des différentes catégories avions, on observe :

- Pour les NOx, une contribution majoritaire des avions de type HEAVY de l'ordre de 75% ;
- Pour les COVNM et le CO, une contribution plus marquée est observée pour la catégorie MEDIUM (>75%) suivie par la catégorie HEAVY ;
- Pour le SO₂ et les particules, une contribution relativement équilibrée entre les deux catégories HEAVY et MEDIUM.

• Paris-Orly

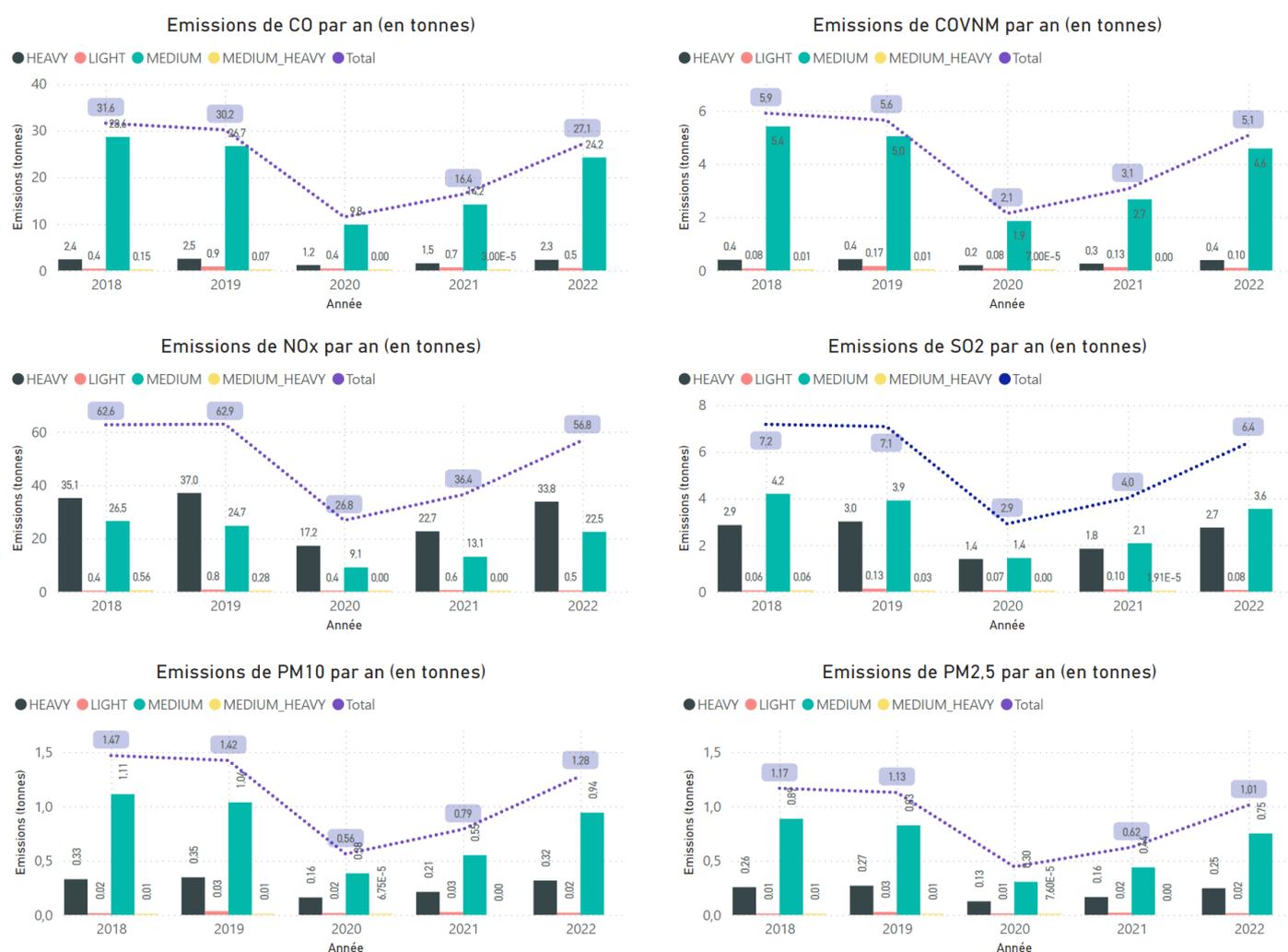


Figure 12 : Evolution pluriannuelle des émissions de NOx, COVNM, CO, PM₁₀, PM_{2.5}, et SO₂ (en tonnes) des APU au poste à Paris-Orly

Sur Paris-Orly, la tendance entre 2018 et 2019 est marquée par :

- Pour le CO et les COVNM, une baisse légère des émissions en raison d'un nombre décroissant du nombre d'avions total ;
- Pour les NOx et le SO₂, à l'inverse des deux polluants précédents, on observe une légère augmentation malgré une baisse du nombre d'avion – principalement dû à une augmentation des avions porteur de type HEAVY ;

- Pour les particules en suspension (PM₁₀ et PM_{2,5}), les émissions sont stables sur cette période.

L'année 2020 est marquée par une baisse significative du nombre de mouvements à Paris-Orly entraînant une diminution notable des émissions de l'ensemble des polluants suivis dans cet inventaire (comprise entre -57 et 64%).

En 2021, la reprise progressive du trafic conduit à une augmentation globale des émissions par rapport à l'année 2020 comprise entre 38 et 43% selon les polluants.

Par rapport à l'année de référence 2018, les émissions sont toujours plus faibles et dont les variations se situent entre -42 et -48%.

En 2022, les émissions sont en hausse par rapport à l'année 2021 en raison de l'augmentation du trafic aérien avec des variations comprises entre +56% et +73%. Ces émissions restent plus faibles que celles calculées sur l'année de référence (2018) avec des variations comprises entre -9 et -14%.

Enfin, quel que soit l'année, la contribution relative des différentes catégories avions, on observe :

- Pour les NO_x et SO₂, une contribution entre les deux catégories majoritaires HEAVY et MEDIUM relativement équilibrée ;
- Pour les autres polluants (CO, COVNM, PM₁₀ et PM_{2,5}), une contribution majoritaire issue des avions de type MEDIUM – porteur principalement représenté sur cette plateforme.

• Paris-Le Bourget

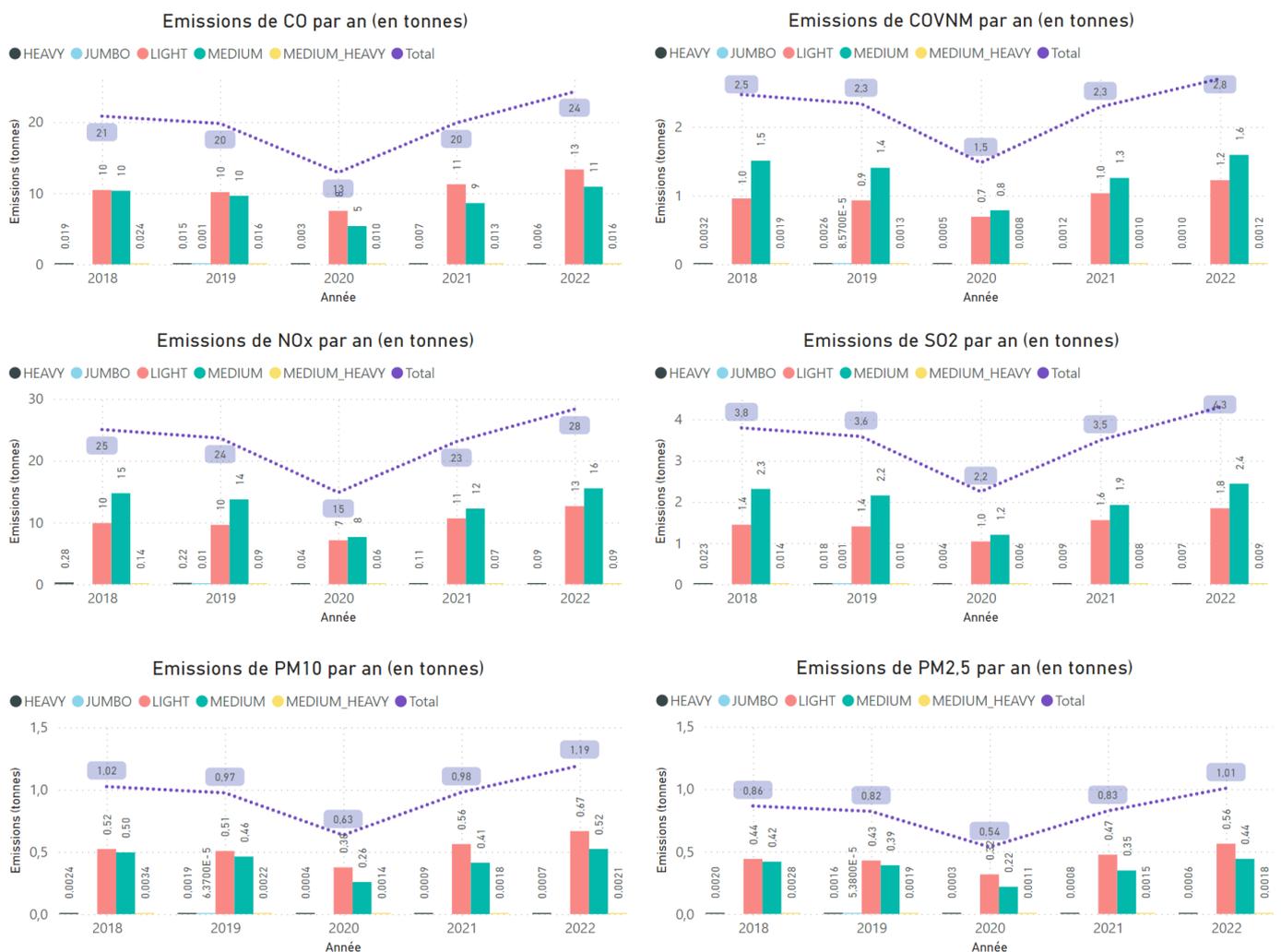


Figure 13 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO_x, COVNM, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, et SO₂ (en tonnes) des APU au poste à Paris-Le Bourget

Sur Paris-Le Bourget, la tendance entre 2018 et 2019 est marquée par, et pour l'ensemble des polluants :

- Des tendances qui suivent l'évolution du nombre d'avion annuel i.e. une sensible baisse entre 2018 et 2019 ;

- Une répartition des émissions répartie entre les deux catégories les plus représentées sur la plateforme : LIGHT et MEDIUM, ~60% et ~40% respectivement.

L'année 2020, marquée par une baisse notable du nombre de mouvements avions, par rapport aux années précédentes, se traduit par des émissions plus faibles quel que soit le polluant. Au niveau de la répartition, selon les catégories avions. Les classes MEDIUM et LIGHT sont les plus représentées et, à la différence des années précédentes, on observe une contribution beaucoup plus équilibrée entre celles-ci résultant d'une baisse moins marquée du nombre d'avion de type LIGHT par rapport aux avions de type MEDIUM.

En 2021, le trafic a atteint pratiquement celui de l'année 2018 (-4%) et conduit à une augmentation globale des émissions par rapport à l'année 2020 de l'ordre de 60%.

Par rapport à l'année de référence 2018, les émissions sont légèrement plus faibles et les variations se situent entre -1,6 et -2,4%.

Concernant l'année 2022, le trafic avion est le plus élevé sur la période d'observation (+17,8% par rapport à 2019), se traduisant par une augmentation des émissions quel que soit les polluants avec des variations comprises entre +19 et +22%.

Partie 3 : Maintenance et manutention des avions au sol

Dans cette section, sont présentées les émissions issues des opérations au sol concernant la maintenance et la manutention des avions. Ces opérations sont décrites selon les quatre catégories issues du document guide de l'OACI (OACI, 2020) et plus précisément : les assistants en escale, le trafic routier en zone réservée, l'avitaillement en carburant et le dégivrage des avions.

Le présent inventaire intègre trois de ces quatre catégories, conséquence du niveau d'informations disponibles et des axes de développement en cours. Le dégivrage des avions n'est pour le moment pas une source prise en compte mais fait partie des perspectives d'amélioration. Le trafic routier en zone réservée est pris en compte mais a été considéré dans un autre chapitre, celui dédié aux sources routières (Partie 4 : Le trafic routier, page 49) compte tenu des méthodes de calculs similaires entre le trafic routier en zone publique et en zone réservée.

Ainsi, cette section compile les émissions résultantes des deux catégories suivantes :

- Les assistants en escale (GSE dont GPU) ;
- L'avitaillement en carburant des avions au sol.

a) Les assistants en escale (GSE dont GPU)

Les véhicules ou engins spéciaux (GSE pour "Ground Services Equipment" et GPU pour "Ground Power Units") interviennent sur piste autour de l'aéronef afin d'assurer les opérations au sol durant l'escale. Ils stationnent autour de l'aéronef durant les phases d'embarquement et de débarquement, afin de procéder à l'avitaillement (carburant, bagages, etc.), au déchargement, à l'acheminement des passagers depuis l'avion vers un terminal ou à l'entretien de l'aéronef. Ces véhicules sont nombreux, variés (électriques/ thermiques), sont opérés par différentes entreprises (compagnies aériennes ou assistants spécialisés dans les opérations d'escale). Les équipements au sol dépendent enfin du type avion et des infrastructures du terminal (type de poste).

Dans la suite de cette section, les équipements au sol seront assimilés au terme GSE.

i) Méthodologie de calcul

En fonction du niveau de connaissance et des informations disponibles sur les équipements au sol, la littérature propose différentes approches de calcul pour déterminer les émissions des GSE au poste. Le Tableau 5 suivant indique les méthodologies de calcul disponibles selon le niveau de détail disponible, pour calculer les émissions des GSE au poste. La méthode surlignée en gras correspond à celle retenue dans cet inventaire pour les trois plateformes aéroportuaires.

Tableau 5 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des engins spéciaux au poste (**en gras l'approche retenue pour l'inventaire 2022**)

Ressources		Approche simplifiée		Approche avancée Paris-Charles de Gaulle Paris-Orly	Approche sophistiquée
		Option 1	Option 2 Paris-Le Bourget		
GSE au poste de stationnement avion	Nombre et type de véhicule	Utilisation des facteurs d'émission de l'étude menée à Zurich en	Calcul des émissions à partir des consommations de carburant²¹	Utilisation de facteurs d'émission de GSE pour différents types avion et types de mouvements en utilisant, après observations et enquêtes,	Calcul moyen d'émissions en n'utilisant que des données propres à l'aéroport pour chaque opération
	Temps d'utilisation				

²¹ ICAO, Airport Air Quality Manual, Doc 9889, Second Edition, 2020. Table 3-A2-5 (Appendix 2 to Chapter 3)

Ressources		Approche simplifiée		Approche avancée Paris-Charles de Gaulle Paris-Orly	Approche sophistiquée
		Option 1	Option 2 Paris-Le Bourget		
Facteurs d'émission	Puissance du moteur	2013 ²⁰ par type avion et par type de poste	des GSE sur la plateforme.	les temps d'utilisation moyen par rotation et les informations de la flotte de GSE propre à la plateforme.	(temps, puissance motrice de chaque GSE, facteurs d'émission actualisé en fonction de l'âge du véhicule).

Calcul des émissions GSE sur Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly

Les émissions des GSE au poste sont calculées pour l'inventaire 2022, selon la méthodologie dite avancée, détaillée dans le document de l'OACI²², sur les plateformes Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly. Celle-ci nécessite de caractériser finement les équipements au sol utilisés sur les plateformes.

Pour cela, une étude a été menée sur la source d'émission GSE en 2018 par les équipes du Laboratoire du Groupe ADP. Cette étude comprend une revue bibliographique et réglementaire, la mise en place d'une campagne d'observations des temps d'utilisation des GSE au poste et l'analyse du parc d'engins à Paris-Charles de Gaulle.

Les résultats de cette étude ont permis de collecter et de consolider les données d'activité des GSE au poste, en fonction du type avion (JUMBO, HEAVY, MEDIUM, etc.) et du type de poste (Large et Contact), pour ainsi déterminer les facteurs d'émission de type NOx, CO, COVM et PM₁₀/PM_{2.5}. Lorsque des données sont incomplètes ou aberrantes, des hypothèses ont pu être établies afin de pouvoir réaliser le calcul d'émissions, en privilégiant lorsque c'est évaluable, des éléments majorants les émissions lors du calcul final. A noter que les émissions de SO₂ n'ont pas été estimées compte tenu de facteurs d'émission unitaires manquants pour ce composé et pour ce type de source.

Cette approche est détaillée en Annexe 12 - rappelant les hypothèses de calcul et les différents paramètres retenus. On retiendra ici que les émissions sont estimées pour les activités au poste avion. Les émissions des GSE en dehors des postes ne sont pas prises en compte dans cette section. A titre d'exemple, les émissions des bus assurant le trajet entre le poste avion et le terminal correspondant, ont été divisées en deux catégories : les émissions liées au stationnement du véhicule à proximité du poste pour attendre les passagers (émissions considérées dans cette section) et les émissions associées au trajet du véhicule sont considérées dans les émissions trafic routier – en zone réservée dont les émissions ont été calculées dans la partie dédiée (Partie 4 : Le trafic routier).

La collecte des données GSE lors de la campagne d'observation s'est déroulée uniquement sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle. L'inventaire considère que ce travail opéré par l'équipe du Laboratoire du Groupe ADP comme représentatif des activités GSE sur la plateforme Paris-Orly compte tenu des similitudes entre les deux aéroports. En revanche, les opérations effectuées sur la plateforme Paris-Le Bourget concernent des aéronefs généralement de petits gabarits et des GSE souvent très différents tant au niveau du temps d'utilisation que du nombre et du type d'appareils.

Ainsi, selon cette approche, les émissions GSE ont été calculées pour deux des trois plateformes franciliennes, à savoir : Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly.

Calcul des émissions GSE sur Paris-Le Bourget

Compte tenu des spécificités de cette plateforme, il n'a pas été possible d'estimer les émissions GSE à partir des enquêtes réalisées sur Paris-Charles de Gaulle.

Pour réaliser ces estimations, une approche simplifiée qui intègre les données de carburant consommées annuellement par les assistants en escale, a été utilisée (Tableau 5). Cette approche est détaillée en Annexe 12 et plus précisément dans le guide méthodologique de l'OACI et s'appuie sur la méthode d'estimation proposée dans le guide EMEP/EEA²³.

²⁰ Zurich Airport - Aircraft Ground Handling Emissions – Methodology and Emission Factors Zurich Airport, April 2014

²² ICAO, Airport Air Quality Manual, Doc 9889, Second Edition, 2020. Eq. A2-3 page.3-A2-7

²³ Non-road mobile sources and machinery. 1-A-4. EMEP/EEA air pollutant inventory guidebook 2023

Inventaire 2022 des émissions atmosphériques - Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly, Paris-Le Bourget

Elle implique le carburant consommé par les GSE pour le calcul des émissions à partir de facteurs indépendants du nombre d'équipement, du type ou de la technologie²⁴.

ii) Résultats des calculs d'émissions

L'évolution pluriannuelle des émissions déterminées selon la méthodologie précédemment décrite pour Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget est présentée dans la Figure 14, Figure 15 et Figure 16 respectivement (Les données chiffrées sont compilées en Annexes 13, 14 et 15). Les émissions sont reportées par type de porteur sur chaque aéroport et chaque polluant. La somme résultante de ces émissions est également reportée.

• Paris-Charles de Gaulle

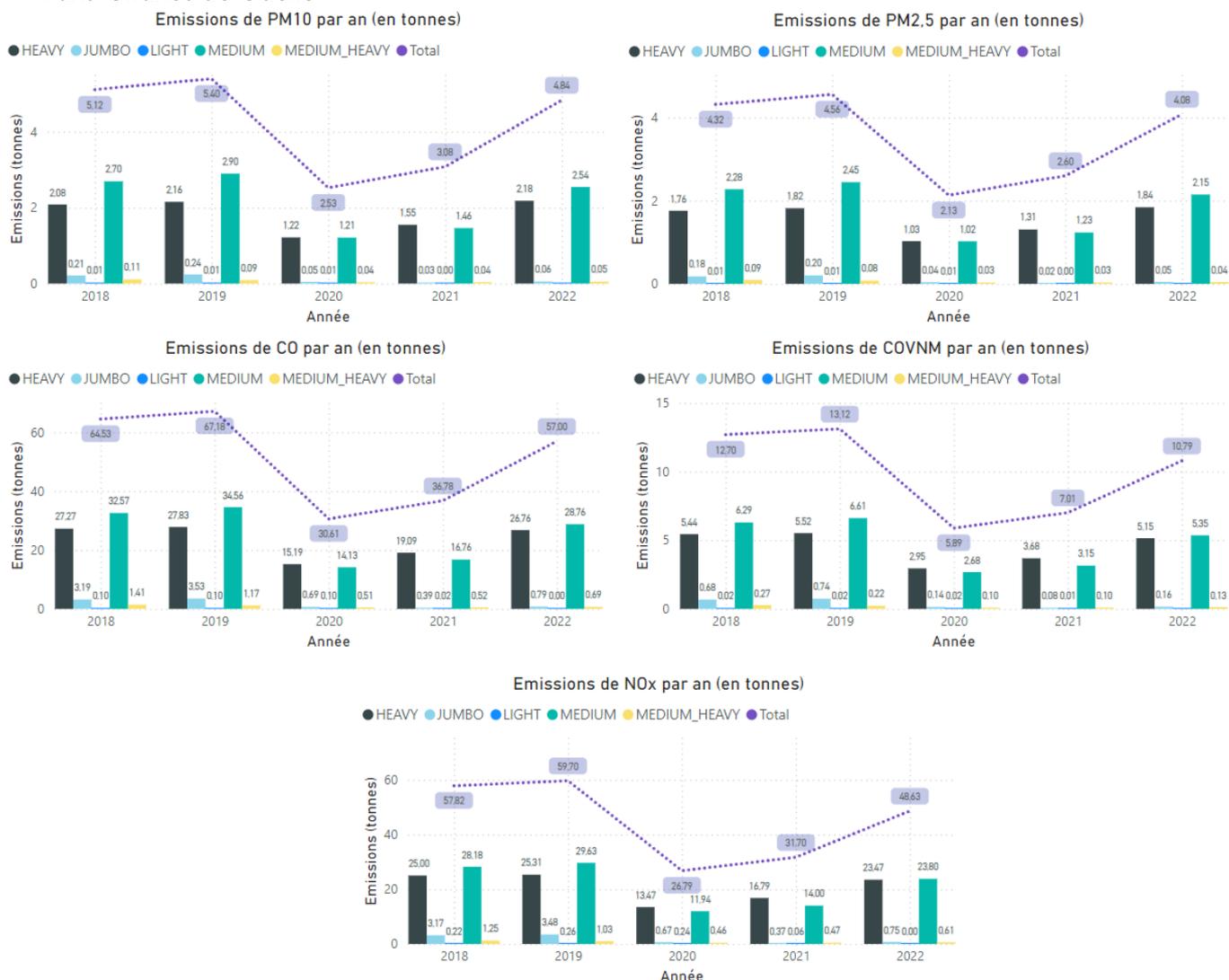


Figure 14 : Evolution pluriannuelle des émissions en tonnes de CO, NOx, COVNM et PM₁₀ / PM_{2.5} avec les facteurs CDG 2018 pour la plateforme de Paris-Charles de Gaulle entre 2018 et 2022

Sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle, la tendance entre 2018 et 2019 est marquée par :

- Une légère augmentation des émissions polluantes (NO_x, CO, COVNM, PM₁₀, et PM_{2.5}), induite par un accroissement du nombre de mouvements avions observé durant cette période (par exemple + 17 230 mouvements entre 2018 et 2019) ;
- Quel que soit le polluant, les avions appartenant aux catégories HEAVY et MEDIUM sont les contributeurs les plus importants.

²⁴ Les données de consommation de carburant ont pu être intégrées dans les calculs qu'à partir de l'année 2019

L'année 2020 est marquée par une baisse significative du nombre de mouvements à Paris-Charles de Gaulle (- 285 866 mouvements par rapport à l'année 2019, soit environ une baisse de 57%), entraînant une diminution notable des émissions de l'ensemble des polluants suivis dans cet inventaire (NO_x, CO, COVNM, PM₁₀ et PM_{2.5}).

On observe une tendance à l'augmentation des émissions en 2021 et 2022 :

- Les émissions ont augmenté, par rapport à 2020, compte tenu de la reprise progressive du trafic aérien (+17,8% en 2021 et +89,7% en 2022) avec des variations comprises entre +15 et +19% selon le polluant (en 2021) et comprise entre +81 et +90% (en 2022);
- Les émissions sont toujours plus faibles par rapport à l'année de référence (2019) compte tenu du trafic moins important (- 49,8% en 2021 et -19,1% en 2022) avec des variations comprises entre -42 et -46% (en 2021) et entre -11 et -19% (en 2022).

• Paris-Orly

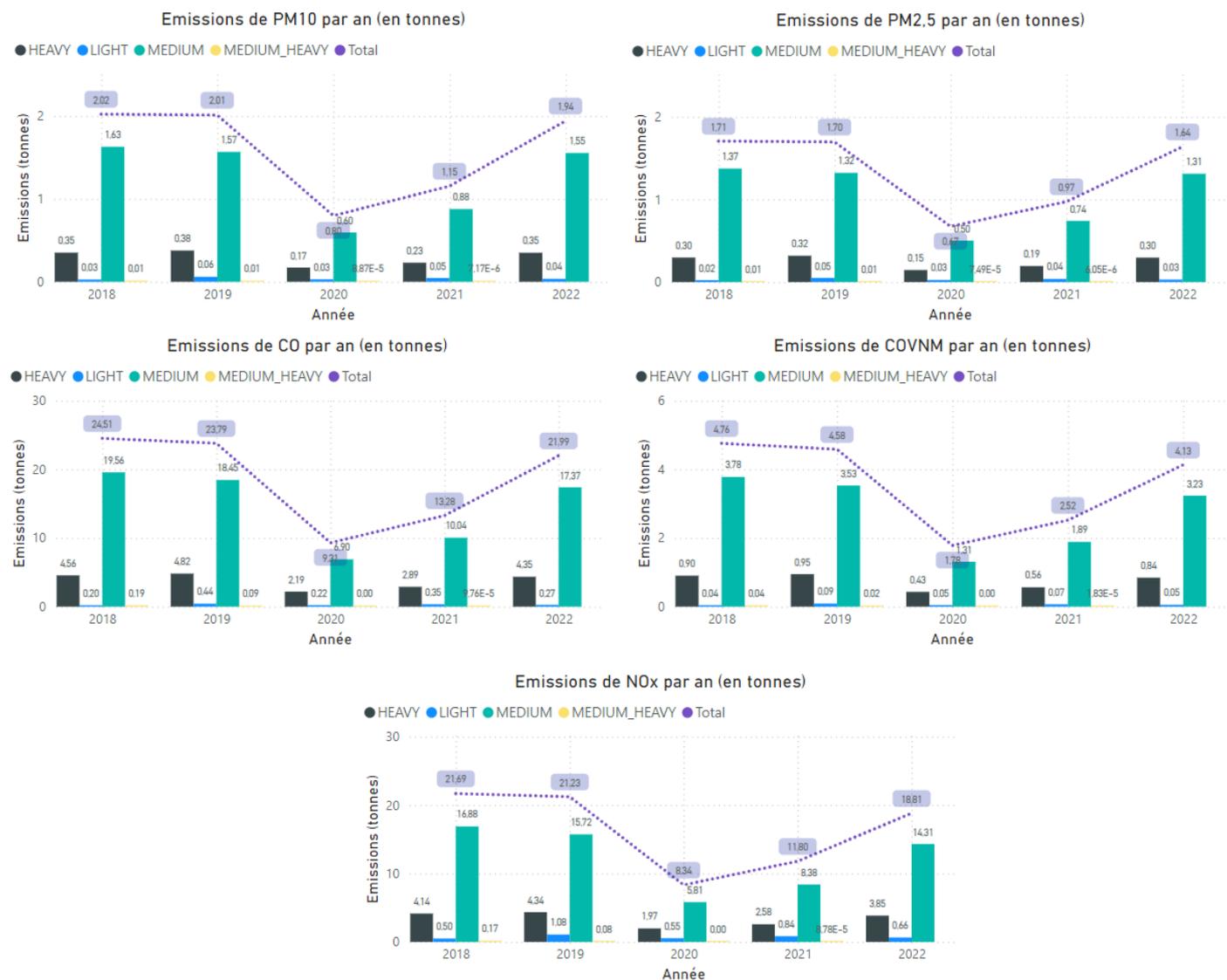


Figure 15 : Evolution pluriannuelle des émissions en tonnes de NO_x, COVNM, CO et PM₁₀ avec les facteurs CDG 2018 pour la plateforme de Paris-Orly entre 2018 et 2022

Sur la plateforme Paris-Orly, la tendance entre 2018 et 2019 est marquée par :

- Une stabilisation des émissions polluantes (NO_x, CO, COVNM, PM₁₀, et PM_{2.5}), induite par un nombre de mouvements avions constants observés durant cette période, plutôt constant. On peut noter entre 2018 et 2019 une baisse des émissions (par exemple sur les NO_x, -5%) corrélée à une diminution du nombre avions (-10 703 mouvements) ;
- Quel que soit le polluant, les avions appartenant à la catégorie MEDIUM sont les contributeurs les plus importants, cohérents avec les activités de la plateforme opérant principalement ce type d'aéronefs (par exemple : A320, A319).

L'année 2020 est marquée par une baisse significative du nombre de mouvements (-47,7%) par rapport à l'année de référence 2018 (trafic le plus faible sur la période considérée) se traduisant par une diminution des émissions comprises entre -42 et -45% selon les polluants.

On observe une tendance à l'augmentation des émissions en 2021 et 2022 :

- Les émissions ont augmenté, par rapport à 2020, compte tenu de la reprise importante du trafic aérien (+42,8% en 2021 et +135,8% en 2022) avec des variations comprises entre 41% et 45% selon le polluant (en 2021) et comprises entre +126 et 143% (en 2022) ;
- Les émissions sont toujours plus faibles par rapport à l'année de référence 2018 compte tenu du trafic moins important (-45,7% en 2021 et -14,5% en 2022) avec des variations comprises entre -42 et -45% (en 2021) et comprises entre -4 et -13% (en 2022).

• **Paris-Le Bourget**

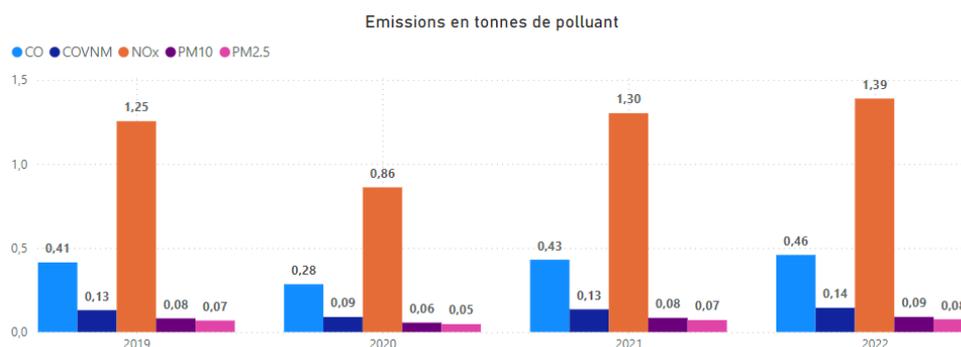


Figure 16 : Evolution pluriannuelle des émissions en tonnes de NOx, COVNM, CO, PM10 et PM2.5 pour la plateforme de Paris-Le Bourget entre 2019 et 2022

Sur la plateforme Paris-Le Bourget, les tendances sur les quatre dernières années ne suivent pas celles observées sur les deux autres plateformes à l'exception de l'année 2020 marquée par le confinement sanitaire national. Cette année montre, quel que soit le polluant, des émissions les plus faibles (-31% par rapport à l'année de référence 2019) sur toute la période 2019-2022 se traduisant par une baisse significative du nombre de mouvements (-38,5%) par rapport à l'année de référence 2019 (trafic le plus faible sur la période considérée).

On observe une tendance à l'augmentation des émissions en 2021 et 2022 :

- Les émissions ont augmenté, par rapport à 2020, compte tenu de la reprise importante du trafic aérien (+55% en 2021 et +92% en 2022), de +51% en 2021 et de +61% en 2022 ;
- Les émissions sont supérieures à l'année de référence 2019 compte tenu du trafic similaire en 2021 (-4%) et en augmentation en 2022 (+18%) de 4% (en 2021) et de 11% (en 2022).

b) Avitaillement en carburant

i) Méthodologie de calcul

Lors d'un passage au poste avion, le remplissage des réservoirs des avions peut donner lieu à des émissions de COVNM par évaporation. L'avitaillement s'opère à l'aide d'un camion-citerne ou de pipeline et consiste en un déploiement d'un tuyau flexible relié à un oléoduc pour le remplissage de l'appareil au sol.

Les émissions de COVNM calculées correspondent au refoulement des vapeurs dans les réservoirs selon la qualité de carburant transféré lors du processus d'avitaillement de l'avion. Cette estimation ne tient pas compte des émissions générées lors du stockage de carburant dans les réservoirs sur site ainsi que du transport entre les réservoirs de stockage et les camions-citernes.

Il n'existe pas, à ce jour, différentes méthodes de calcul (simple, sophistiquée, etc.) de ces émissions en fonction du niveau de détail disponible sur les données d'entrée. Une seule méthode est applicable et issue du guide de l'OACI (2020).

A noter que les émissions liées au fonctionnement des camions-citernes et des appareils nécessaires à l'avitaillement des avions sont calculées dans la section dédiée (Les assistants en escale (GSE dont GPU) en page 43).

Le détail de la méthode utilisée ainsi que les données d'entrée sont présentés en Annexe 16.

ii) Résultats des calculs d'émissions

Les émissions de COVNM par évaporation lors du processus d'avitaillement pour l'année 2022 sont compilées dans le Tableau 6.

Tableau 6: Emissions de COVNM par avitaillement de carburant sur chaque plateforme

Plateforme	COVNM (tonnes / an)
Paris-Charles de Gaulle	35,6
Paris-Orly	8,73
Paris-Le Bourget	0,689

Partie 4 : Le trafic routier

Les émissions issues du trafic routier en zones publiques et réservée sur les plateformes Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly ont été prises en compte dans cet inventaire.

En zone publique l'ensemble du trafic routier a été considéré comme induit par les activités des aéroports. Il s'agit par conséquent d'une approche majorante car sans distinction entre le flux induit par les activités des plateformes et le flux de circulation généré par les autres activités dans le domaine étudié (transports, trajets domicile-lieu de travail hors salariés ADP, entreprises voisines, etc.). Pour minimiser ce biais, un périmètre restreint a été défini autour de chaque plateforme :

- Sur Paris-Charles de Gaulle, le périmètre couvre un domaine de 10 km autour de la plateforme ;
- Sur Paris-Orly, le périmètre couvre un domaine plus restreint (2 km autour de la plateforme).

a) Trafic routier en zone publique

i) Méthodologie de calcul

Les origines des émissions des polluants automobiles peuvent être multiples. Les sources d'émissions sont généralement séparées en trois groupes (et schématisées sur la figure ci-dessous) :

- Les émissions par échappement. Les émissions sont produites par la combustion des produits pétroliers tels que l'essence, le diesel, le gaz naturel ainsi que le gaz de pétrole liquéfié. Ces carburants sont des mélanges de plusieurs hydrocarbures qui réagissent lors de la combustion avec l'oxygène et l'azote contenus dans l'air pour former de l'eau, du CO₂ et des polluants gazeux.
- Les émissions par évaporation. Il s'agit des émissions résultantes des vapeurs s'échappant du système de stockage et de circulation du carburant entre le réservoir et le moteur. Les émissions par évaporation sont uniquement significatives pour les COVNM et peuvent avoir lieu lorsque le moteur du véhicule est en marche ou à l'arrêt, et le processus est conditionné par les conditions environnementales (température extérieure par exemple) et les conditions de fonctionnement du véhicule (température du moteur, type de carburant, etc.).
- Les émissions par abrasion. Il s'agit des émissions générées par une action mécanique des parties du véhicules avec la chaussée. L'abrasion est un phénomène qui ne génère que des particules en suspension telles que les PM₁₀/PM_{2,5}/TSP²⁵.

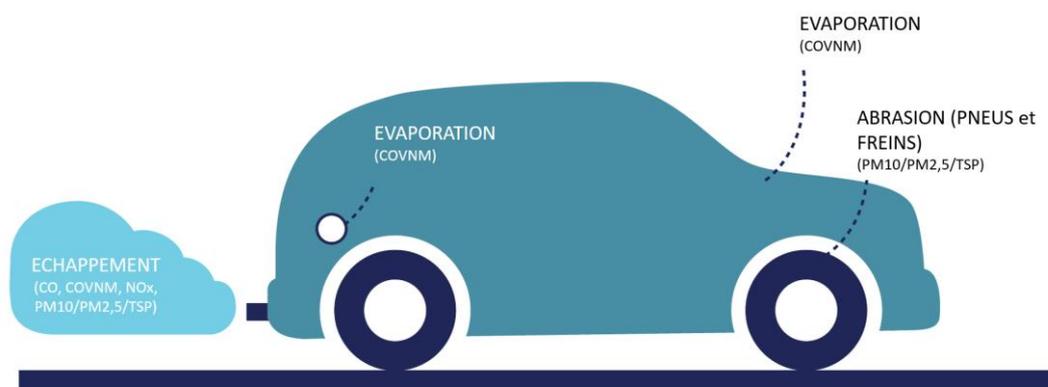


Figure 17: Les différents types de sources d'émissions sur un véhicule thermique routier (schéma adapté du document non technique de l'Agence de l'Environnement Européenne²⁶)

²⁵ Les émissions de particules par abrasion de la chaussée et remise en suspension des particules déposées au sol n'ont pas été prises en compte dans cet inventaire.

²⁶ Explaining Road transport emissions – A non-technical guide, EEA, 2016.

Le tableau suivant présente les différentes sources d'émission prises en compte dans cet inventaire en fonction des polluants.

Tableau 7: Liste des origines des émissions de polluants

Polluant	Polluant émis à l'échappement	Polluant émis à l'évaporation	Polluant émis au roulage par abrasion (freins, chaussée et pneus)
Oxydes d'azote	X		
TSP / PM ₁₀ / PM _{2.5}	X		X
CO	X		
COVNM	X	X	
SO ₂	X		

L'estimation des émissions par échappement, évaporation et abrasion a été réalisée sur la base de l'outil COPERT V développé par la société EMISIA et supporté par l'Agence Européenne de l'Environnement, dans la version 5.6.1 publiée en septembre 2022²⁷. Le graphique ci-dessous présente le principe général de mode de calcul du logiciel. Chacune des catégories est détaillée dans la suite de cette section.

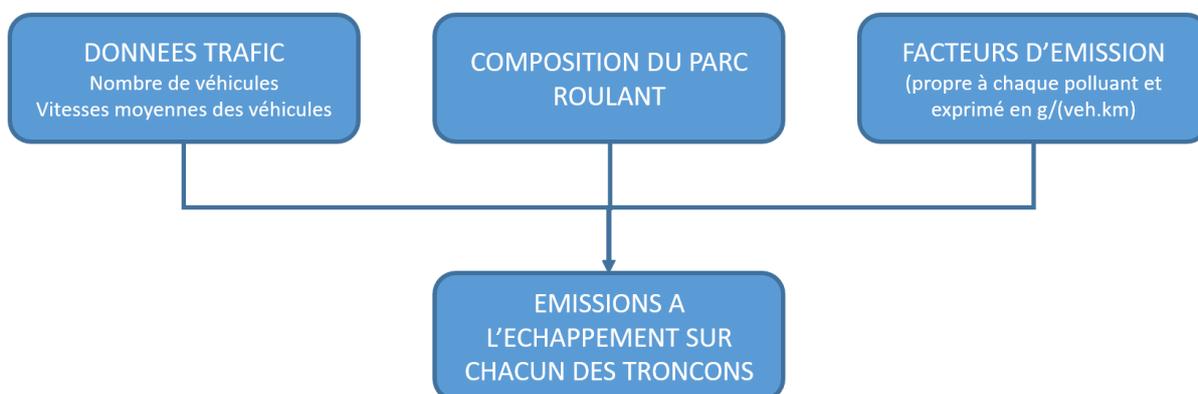


Figure 18: Méthodologie d'estimation des émissions par échappement, évaporation et abrasion

En synthèse, les émissions du trafic routier en zone publique à Paris-Charles de Gaulle et Orly sont calculées selon une approche sophistiquée (Cf. Tableau 8). Le détail des hypothèses et des méthodologies utilisées est présenté en Annexe 17.

Tableau 8 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du trafic routier en zone publique (**en gras les approches retenues pour l'inventaire 2022**)

	Ressources	Approche simple	Approche avancée	Approche sophistiquée
Routier zone publique	Flux de véhicule (Consommation, vitesse, comptage...)	Calculs forfaitaires selon des données de consommation ou de trafic extrapolées sur la plateforme et sur l'année.	Utilisation de données de comptage sur quelques sites extrapolés.	Utilisation de données journalières de comptages réelles et de vitesses sur différents sites de la plateforme. Utilisation du parc roulant détaillé UGE-IFSTAR-2023
	Type de flotte (Répartition Véhicule lourd/léger, % électrique, âge moyen du parc)			
	Facteurs d'émission (méthodologie COPERT V)	Tier 1 : basée sur les consommations annuelles tout véhicule confondu	Tier 2 : basée sur le nombre de kilomètres parcourus par catégorie de véhicules	Tier 3 : basée sur les données d'activité du parc roulant (consommation, année d'immatriculation, technologie, etc.)

²⁷ <https://www.emisia.com/utilities/copert/versions/>

ii) Données trafic

Les données de trafic nécessaires à l'estimation des émissions pour chacun des tronçons routiers considérés sont :

- Le nombre de véhicules en circulation sur l'année – exprimé en TV (Tout Véhicule) ;
- La longueur du tronçon ;
- La vitesse moyenne de circulation des véhicules ;
- La part de poids-lourds (PL).

Les caractéristiques des tronçons routiers pris en compte dans le cadre de cet inventaire sont issues des données du Groupe ADP et reposent sur :

- Les boucles de comptage opérées par le laboratoire du Groupe ADP et dont les données sont collectées en continu 24/7 sauf lors de travaux / dysfonctionnement ;
- Un modèle de trafic réalisant la modélisation d'une situation moyenne à l'heure de pointe du matin et à l'heure de pointe du soir, permettant de reconstruire les données de volume de trafic sur une année complète et sur le réseau routier aux abords des plateformes franciliennes.

Les deux tableaux suivants (Tableau 9, Tableau 10) présentent les cinq caractéristiques principales des réseaux routiers :

- La longueur totale du réseau, correspondant à la somme en km des tronçons routiers pris en considération dans le calcul des émissions ;
- Les TMJA (Trafic Moyen Journalier Annuel) qui correspondent, sur chaque tronçon routier, au flux de véhicules total journalier moyen sur une année, sans distinction jour ouvré et week-end ;
- La distance moyenne journalière parcourue. Il s'agit de la somme sur l'ensemble du réseau, du produit volume de véhicule journalier et longueur, pour chaque tronçon ;
- La composition (VL/PL/2R²⁸) sur le volume de véhicules²⁹ et sur l'ensemble de réseau routier considéré, par plateforme ;
- La vitesse moyenne pondérée par le volume de véhicules (distinction faite entre VL et PL) sur chaque tronçon.

En termes d'évolution du trafic routier :

- Sur Paris-Charles de Gaulle, par rapport aux années antérieures (2020 et 2021), on observe, en 2022, une augmentation des flux de circulation précisée par les indicateurs TMJA (+42% par rapport à 2021) et distance totale parcourue (+39% par rapport à 2021), une baisse de la vitesse moyenne (-6% par rapport à 2021) et une légère modification de la composition du parc avec une augmentation de la part de VL et une baisse de la part de PL ;
- Sur Paris-Orly, par rapport à l'année 2021, les flux de circulation, en 2022, sont en nette augmentation avec une progression des TMJA de 37% et des distances totales parcourues de 31%. La vitesse moyenne de circulation est en légère baisse (-2%). On observe, par ailleurs, que la composition du parc roulant sur le réseau reste sensiblement le même.

L'augmentation globale du trafic routier, en 2022, sur les deux plateformes est une conséquence directe de la reprise des activités économiques amorcée en 2021, et la fin progressive des restrictions de déplacement et de confinement sanitaires. Ainsi le trafic routier VL augmente sur les deux plateformes et plus largement en Ile de France³⁰.

A l'échelle nationale, cette reprise des activités reste cependant contenue, encore marquée en début 2022 par la cinquième vague de la Covid-19 avec en particulier des pénuries persistantes de composants pour les véhicules, et se voit affectée par de fortes tensions sur les matières premières consécutives à l'invasion de l'Ukraine par la Russie, une augmentation du prix du baril et une forte inflation sur les prix à la consommation³¹.

Ce contexte a pour conséquence une baisse de la part modale de PL sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle, positionné comme hub cargo majeur européen et dont l'évolution sur le transport de marchandise influence directement les flux routiers PL.

²⁸ VL : véhicule léger, PL : Poids lourds, 2R : deux roues (motocyclettes, scooters)

²⁹ La proportion des deux-roues est estimée directement en fonction du parc roulant national français.

³⁰ Consultation des tableaux de bord mensuel sur le site de la DIRIF : [Tableau de bord mensuel de la circulation - Année 2022 | DIRIF \(developpement-durable.gouv.fr\)](https://www.dirif.developpement-durable.gouv.fr/)

³¹ Bilan annuel des transports en 2022, SDES, Datalab, novembre 2023.

Tableau 9: Distances totales et vitesse moyenne sur les réseaux Paris-Charles de Gaulle

Paramètre	Paris-Charles de Gaulle		
	2020	2021	2022
Longueur totale du réseau	272 km	272 km	272 km
TMJA (Trafic Moyen Journalier Annuel)	4 512 371	5 447 992	7 749 500
Distance moyenne journalière parcourue totale	1 218 720 km/jour	1 468 813 km/jour	2 044 628 km/jour
Vitesse moyenne pondérée	64,6 km/h	58,8 km/h	55,1 km/h
Composition (VL / PL / 2R)	85,6% / 6,1% / 8,3%	85,6% / 5,7% / 8,7%	86,6% / 4,1% / 9,3%

Tableau 10: Distances totales et vitesse moyenne sur les réseaux Paris-Orly

Paramètre	Paris-Orly		
	2020	2021	2022
Longueur totale du réseau	-	54 km	54 km
TMJA (Trafic Moyen Journalier Annuel)	-	1 631 098	2 238 981
Distance moyenne journalière parcourue totale	-	361 318 km/jour	474 426 km/jour
Vitesse moyenne pondérée	-	57,2 km/h	56,3 km/h
Composition (VL / PL / 2R)	-	88,2% / 2,8% / 9,0%	87,8% / 2,8% / 9,4%

iii) Composition du parc roulant

Pour les calculs d'émissions par échappement, évaporation et abrasion, il est nécessaire de connaître la répartition du parc roulant automobile (nombre de véhicules essence ou diesel, catalysés ou non, année de mise en circulation du véhicule par rapport aux normes sur les émissions, etc.) pour chaque catégorie de véhicules. Il est généralement admis que décrire un parc roulant sur 4 catégories de véhicules permet de détailler avec suffisamment de précision l'état du trafic lorsqu'il s'agit d'estimer les émissions routières³². Ces catégories sont par ailleurs retenues au niveau européen selon les classifications NFR (Nomenclature For Reporting) et SNAP (Selected Nomenclature for sources Air Pollutants). Les catégories retenues pour décrire le parc roulant sont les suivantes :

- Véhicules Particulier (VP) : regroupant les véhicules utilisés par les particuliers (en dehors des véhicules utilitaires) de type berlines, citadines et SUV ;
- Véhicules Utilitaires Légers (VUL) : cette catégorie regroupe les utilitaires ne dépassant pas les 3,5 tonnes ;
- Poids-Lourds (PL) : Il s'agit des véhicules de plus de 3,5 tonnes qui peuvent intégrer les véhicules avec plus de deux essieux. Cette catégorie intègre également les bus ;
- Motos et scooters (2R) : cette catégorie intègre l'ensemble des véhicules motorisés à deux et trois roues quel que soit la cylindrée du moteur.

Les catégories de véhicules décrites ci-dessus, sont décomposées selon plusieurs paramètres qui permettent de rendre compte, de façon réaliste, des émissions de polluants émis par véhicule. Ces paramètres sont présentés sur la figure suivante. Ainsi pour chaque catégorie de véhicule, le type de motorisation, le kilométrage sont des paramètres considérés dans un parc roulant, pouvant influencer les émissions de polluants. On note ici que sur cette figure, sont également présentés des paramètres liés plus aux conditions de circulation telles que les pentes des voies de circulation, les conditions de trafic – paramètres à la fois liés au réseau routier (volume et infrastructures) mais également au fonctionnement moteur des véhicules.

³² Guide méthodologique sur le volet "air et santé" des études d'impact routières – CEREMA – 2019 (REF 978-2-37180-396-1)

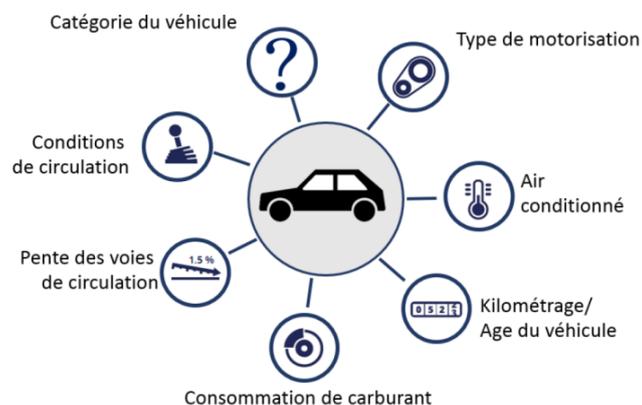


Figure 19: caractérisation d'un véhicule dans un parc roulant

La composition du parc roulant utilisé dans cet inventaire est le parc nommé dans la suite du document : UGE-IFSTTAR-2022, pour l'année 2022³³, qui découle des travaux menés par l'Université Gustave Eiffel (ex-IFSTTAR) pour caractériser le parc Français actuel jusqu'à l'horizon 2050^{34,35}, dans sa dernière version mise à jour³⁶. Cette nouvelle version intègre, en synthèse, les éléments suivants :

- Un scénario d'évolution du parc et des immatriculations à l'horizon 2050 s'appuyant sur les travaux en lien avec la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) ;
- La construction de la composition du parc pour être cohérente avec la révision des outils européens de calculs des émissions (HBEFA4.2)³⁷ ;
- La transcription complète du parc roulant dans la dernière version disponible de l'outil COPERT V (à l'exception des véhicules électriques et hydrogène non considérés ici car supposés peu impactant sur les émissions de polluants suivis dans cet inventaire³⁸).

De façon agrégée, la figure suivante³⁹ présente la répartition des véhicules par type (nombre et kilométrage annuel moyen⁴⁰), par énergie et selon les normes Euro sur les parcs 2021 et 2022.

- Les parcs sont principalement thermiques (1,47% et 2,14% de véhicules électriques en circulation en 2021 et 2022 respectivement) et distribués entre des carburants de type essence (entre 22,3% et 21,9%) et diesel (entre 72,2% et 70,4%). La catégorie "autre" se réfère aux énergies de type gaz naturel, GPL et hydrogène dont la contribution reste très faible (<0,7%). A noter, une légère augmentation de la part des véhicules hybrides entre 2021 (3,6%) et 2022 (4,9%) ;
- Selon les normes Euro, on observe entre 2021 et 2022, la modernisation du parc vers des véhicules thermiques plus récents (augmentation de la part des normes Euro-5 et Euro-6) et des véhicules électriques (catégorie Alt) ;
- Au niveau de la répartition des véhicules sur les parcs roulants : sur les deux années, les parcs sont analogues, principalement constitués par les VP (~76%) suivie par les VUL (~18%), les PL (~3%), les 2-Roues (~2%), et enfin les bus (0,6%).

³³ Dans la suite du document, l'année du parc est précisée en suffixe. Par exemple, celui de l'année 2021 se nomme UGE-IFSTTAR-2021

³⁴ André M., Allemand A., Roux C., Lekhal F., Hivert L., Boutueil V. (2019) : Connaissance et prospective des parcs automobiles. IFSTTAR, Bron, France, Rapport Ifsttar, 74 p. Travaux réalisés pour la DGITM.

³⁵ André, M., A.L. Roche, L. Bourcier. (2013). Statistiques de parcs et trafic pour le calcul des émissions de polluants des transports routiers pour la France. Rapport IFSTTAR-LTE, Bron (France), 132p.

³⁶ Note communiquée au Laboratoire du Groupe ADP par Michel André en date du 19/10/2023

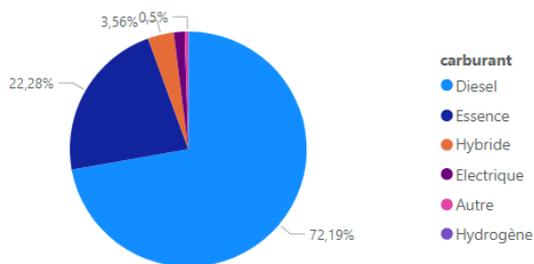
³⁷ <https://www.hbefa.net/e/index.html>

³⁸ Même si les véhicules non thermiques sont une source des émissions particulaires par abrasion, puisque la méthodologie COPERT V n'intègre pas ce type de véhicules, leur émissions associées n'ont pas été considérées.

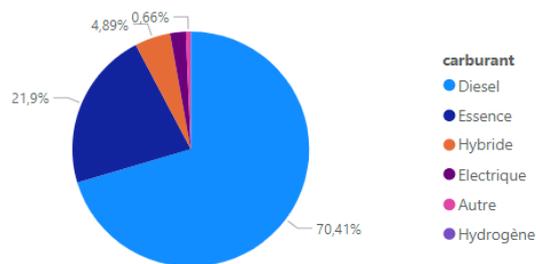
³⁹ Dans ce visuel, la distinction bus et PL a été faite pour plus de lisibilité

⁴⁰ Les véhicules sont exprimés, par énergie et selon les normes Euros, par segment, en nombre de véhicules fois le nombre de kilomètres annuels parcourus.

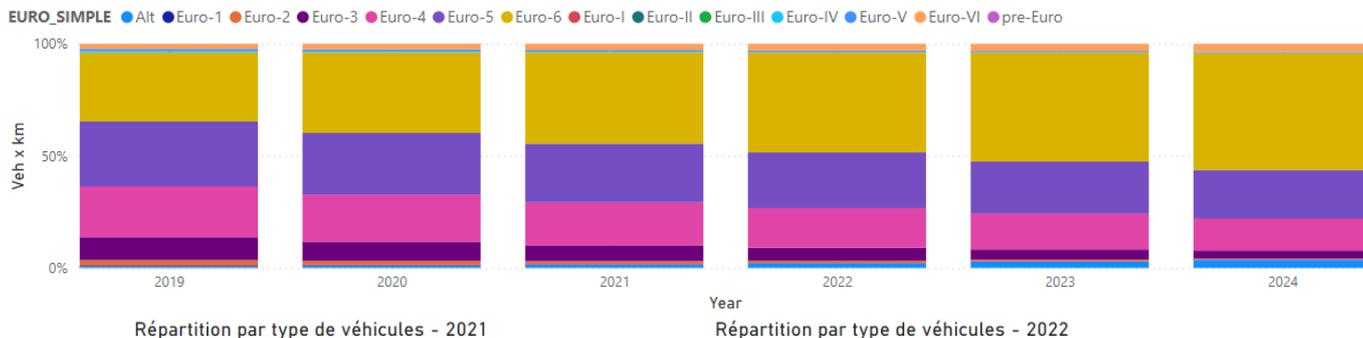
Energie - 2021 (Veh x km)



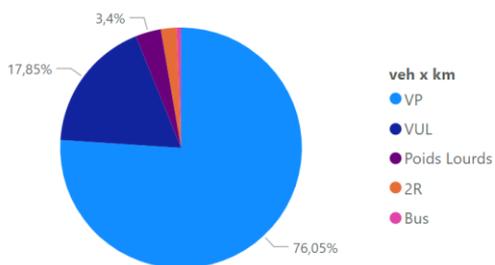
Energie - 2022 (Veh x km)



Répartition selon les normes Euro



Répartition par type de véhicules - 2021



Répartition par type de véhicules - 2022

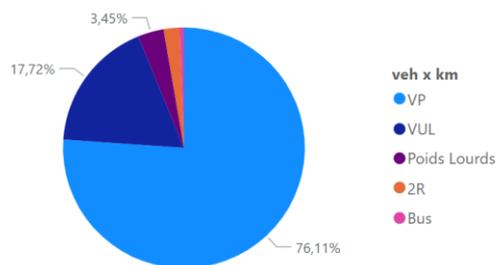


Figure 20: Infographie sur les parcs UGE-IFSTAR 2021 et 2022, répartition par catégorie de véhicules, selon les normes Euro et par énergie. La répartition sur le nombre de véhicules selon les normes Euro balaye une période glissante de 5 années.

A noter que, dans la suite de ce document, la catégorie VUL a été agrégée à la catégorie VP. Elles constituent une catégorie unique VL (Véhicules légers), utilisée dans la suite de ce document qui permet de relier le niveau de détail disponible dans les parcs UGE-IFSTAR et les données de trafic sur les réseaux routiers étudiés.

iv) Les facteurs d'émission

Les facteurs d'émission pour le trafic routier correspondent à la quantité de polluants rejetés par un véhicule, sur une distance donnée. Pour les émissions par échappement, par évaporation et par abrasion (freins et pneus), les facteurs d'émission sont exprimés en g/(veh.km). Ces facteurs proviennent d'expérimentations sur banc d'essais ou en conditions réelles. Ils dépendent :

- De la nature des polluants ;
- Du type de véhicule – selon le niveau de détail présenté dans le paragraphe précédent ;
- Du cycle de circulation (trajet urbain, autoroute, moteur froid / chaud) ;
- De la vitesse du véhicule ;
- De la température ambiante (pour les émissions à froid et pour l'évaporation des COVNM).

Les facteurs d'émission utilisés dans cet inventaire sont ceux recommandés par l'Agence Européenne de l'Environnement et intégré dans l'outil COPERT V.

Dans le cadre de l'estimation des émissions par échappement et par évaporation, les surestimations dues au démarrage à froid ont été pris en compte dans cet inventaire et dépendent de la typologie de la route (autoroute, voie urbaine ou rurale) ainsi que du parcours moyen.

On rappelle ici l'influence de la vitesse de circulation sur les facteurs d'émission des polluants⁴¹. Pour cela, un exemple sur les facteurs d'émission de NOx, en fonction de la vitesse (représentatif entre 5 et 130 km/h), calculés dans le cadre de cet inventaire, est présenté sur la figure suivante. Cette figure montre qu'en fonction de la catégorie du véhicule (VL, PL, 2R) les facteurs d'émission exprimés en gramme de polluants émis par kilomètre parcouru et par unité de véhicule varient :

- d'une part, en fonction du type de véhicule. Globalement, pour les NOx, un véhicule plus lourd reste plus émissif. A titre d'exemple, à 60 km/h un véhicule PL émet environ 2 fois plus qu'un VL, ce dernier émettant 2 fois plus qu'un 2R ;
- d'autre part, la vitesse influe de façon significative sur les facteurs d'émission. Les facteurs d'émission pour les véhicules de type VL suivent une courbe en cloche, avec des valeurs beaucoup plus importantes à basses et très basses vitesses pour atteindre une valeur limite inférieure entre 60 et 70 km/h, les facteurs augmentent ensuite avec la vitesse. Pour les PL, la courbe des facteurs d'émission en fonction de la vitesse est différente. Elle présente des valeurs maximales pour des vitesses très basses pour ensuite décroître et atteindre progressivement un plateau pour des vitesses supérieures à 70-80 km/h jusqu'aux valeurs limites de vitesse de circulation. Enfin, pour les 2R, on peut observer un comportement similaire à celui des VL, une courbe présentant des valeurs plus importantes à très basses vitesses, pour ensuite atteindre une valeur minimale autour de 40 km/h, et des facteurs d'émission qui augmentent de façon linéaire avec la vitesse.

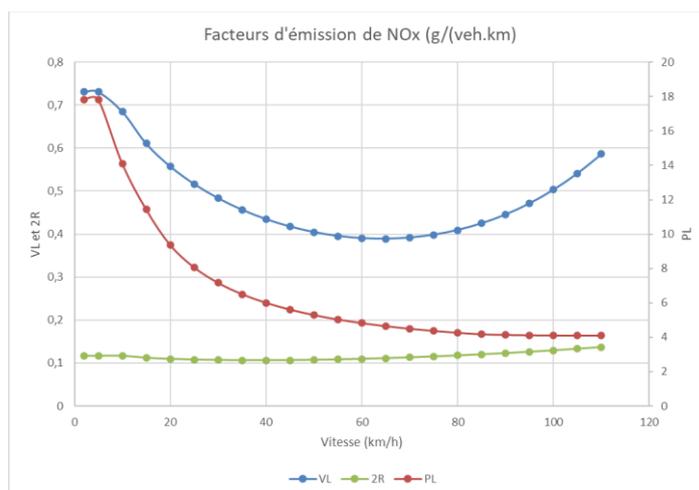


Figure 21: Exemple de facteurs d'émission en fonction de la vitesse pour les NOx sur la base des facteurs COPERT V et du parc UGE-IFSTAR-2020.

A noter, dans cet inventaire, du cas particulier du SO₂. Les facteurs d'émission sont directement proportionnels à la consommation de carburant selon le rapport de mélange de composés soufrés présents dans les carburants. Ces

⁴¹ Emissions routières des polluants atmosphériques – Courbes et facteurs d'influence- CEREMA - 2021

rapports sont reportés dans le tableau ci-dessous et proviennent du document guide EMEP publié en 2019 (mis à jour en octobre 2021)⁴².

Tableau 11 : Rapport de mélange des composés soufrés dans les carburants routiers

Type de carburant	Rapport de mélange en composés soufrés (ppm, masse)
Essence	5
Diesel	3

b) Trafic routier en zone réservée

La stratégie développée pour calculer les émissions de polluants est la même que celle décrite pour évaluer les émissions du trafic routier en zone publique. Elle repose sur les mêmes données d'entrée mais avec un niveau de détail disponible moins élevé et détaillé comme suit :

- Les données de consommation annuelle de carburant (diesel et essence) sur les points de ravitaillement des différentes plateformes ont été utilisées en termes de données trafic ;
- La composition du parc repose sur les données du Groupe ADP qui renseigne la composition de sa flotte de véhicules circulant sur la plateforme. Par extrapolation, la distribution de cette flotte est utilisée pour l'ensemble de la flotte présente en zone réservée (Groupe ADP, compagnies aériennes et autres prestataires). Avec cette hypothèse, il n'est pas possible de représenter l'impact des activités GSE en dehors du Groupe ADP. Un travail de collecte est en cours pour affiner les résultats dans les prochains inventaires ;

De fait, l'approche simple (Tier 1), ainsi que les facteurs d'émission associés, ont été utilisés pour calculer les émissions de trafic en zone réservée.

En fonction du niveau de connaissance et des informations disponibles, différentes approches de calcul peuvent être réalisées pour déterminer les émissions du trafic routier en zone réservée. Le Tableau 12 indique les différentes méthodologies de calculs possibles, pour calculer les émissions du trafic routier en zone réservée en fonction de la complexité d'approche.

Tableau 12 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du trafic routier en zone publique (**en gras les approches retenues pour l'inventaire 2022**)

Ressources		Approche simple	Approche avancée	Approche sophistiquée
Routier zone réservée	Flux de véhicule (Consommation, vitesse, comptage...)	Calculs forfaitaires selon des données de consommation annuelles extrapolées sur la plateforme et sur l'année.	Utilisation de données de comptage sur quelques sites extrapolés sur la plateforme et sur l'année.	Utilisation de données réelles horaire de comptage et de vitesses sur différents sites de la plateforme.
	Type de flotte (Répartition Véhicule lourd/Léger, part d'électriques, âge moyen du parc)			
	Facteurs d'émission (méthodologie COPERT V)	Tier 1 : basée sur les consommations annuelles tout véhicule confondu	Tier 2 : basée sur le nombre de kilomètres parcourus par catégorie de véhicules	Tier 3 : basée sur les données d'activité du parc roulant (consommation, année d'immatriculation, technologie, etc.)

⁴² EMEP / EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 - section 1.A.3.b

Comme indiqué précédemment, les données disponibles en zone réservée sont plus parcellaires que les données en zone publique. Les données étant moins résolues notamment dans le nombre de kilomètres parcourus par type de véhicules, le calcul des émissions liées à l'abrasion (freins, pneus) n'a été réalisé dans cet inventaire pour ce secteur d'activité.

Le détail des hypothèses et des méthodologies utilisées pour déterminer les émissions est présenté en Annexe 18.

A noter que, par rapport aux années antérieures, la méthodologie a été mise à jour pour assurer une cohérence sur la méthode de calcul des émissions routières (en zones publique ou réservée) – seul le niveau de sophistication change. Cependant, à ce jour, les données d'entrée restent les mêmes et n'ont pas été mises à jour pour 2022 concernant le trafic en zone réservée. Elles sont donc identiques à celles utilisées pour le calcul des émissions dans les inventaires précédents de 2017 à 2021.

c) Résultats des calculs d'émissions en zones publique et réservée

En zone publique

Les émissions calculées pour le trafic en zone publique sont présentées par polluant et par catégorie de véhicules sur les deux figures suivantes (Figure 22 et Figure 23). Le détail chiffré des émissions calculées est reporté en Annexe 19.

Ces deux figures montrent, quel que soit le polluant, que la catégorie des VL est la plus contributrice – s'agissant des véhicules majoritairement en circulation autour des deux plateformes aéroportuaires. Par ailleurs, compte tenu d'un périmètre plus important autour de Paris-Charles de Gaulle, les émissions polluantes sont plus élevées en valeur absolue sur cette plateforme que sur Paris-Orly.

Sur Paris-Charles de Gaulle :

- Les émissions en 2022 tendent à augmenter par rapport aux années précédentes et traduisent le trafic routier plus important. On observe ainsi des augmentations pour les NOx (10,1%), le CO (23,8%), les COVNM (13,0%), le SO₂ (27,6%), les PM₁₀ (19,0%), les PM_{2.5} (13,0%) et les TSP (20,5%) ;
- On note une contribution moins importante des PL que lors des années précédentes, traduisant la baisse du flux de circulation de cette catégorie. La contribution VL et 2R devient par conséquent plus importante sur l'ensemble des polluants consécutive de l'augmentation du trafic routier en 2022.

Sur Paris-Orly :

- Les émissions en 2022 tendent à augmenter par rapport à 2021 et traduisent le trafic routier plus important. On observe ainsi des augmentations pour les NOx (13,5%), le CO (9,1%), les COVNM (3,1%), le SO₂ (17,8%), les PM₁₀ (9,6%), les PM_{2.5} (5,4%) et les TSP (11,9%).

On peut observer également en 2022 :

- Une contribution importante de la catégorie PL (malgré une part faible de l'ordre de 4% et 2% sur Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly respectivement) sur le polluant NOx traduisant un parc de véhicules vieillissant et par conséquent des normes de pollution moins contraignantes pour cette catégorie comparativement aux VL et 2R – en effet l'évolution des normes de pollution a eu pour conséquence une baisse importantes des émissions autorisées de NOx ;
- Une stabilisation, sur Paris-Charles de Gaulle, des émissions sur les VL pour les COVNM, malgré une hausse de trafic de l'ordre de 40% par rapport à 2021. Cette tendance traduit un renouvellement du parc moins émetteur (-33% par rapport à 2021, Annexe 17), combinée à une baisse de la vitesse de circulation (-6,3%). Cette tendance est encore plus remarquable sur la plateforme Paris-Orly, on observe une baisse des émissions sur les VL pour les COVNM et une stabilisation des émissions de VL pour le CO ;
- Bien que sur la plupart des polluants suivis, les 2R ont une contribution relativement faible, la part des 2R sur le CO et les COVNM reste significative et supérieure à la contribution des PL. Cette tendance traduit le type d'énergie utilisée par ces deux catégories. D'un côté, des moteurs principalement diesel pour les PL, émetteurs de NOx et de particules, et de l'autre, des moteurs exclusivement essence pour les 2R dont les facteurs d'émission unitaires sont plus important pour ces polluants (CO et COVNM) ;
- Concernant les émissions de particules, elles résultent à la fois de la combustion de carburants et des phénomènes d'abrasion (de la chaussée et des pneus). Elles sont, par conséquent, fortement impactées par la taille du réseau conjuguée au nombre de véhicules en circulation ;
- Les émissions de SO₂ restent contenues traduisant des contenus en soufre dans les carburants utilisés très faibles (3 ppm et 5 ppm pour le diesel et l'essence respectivement).

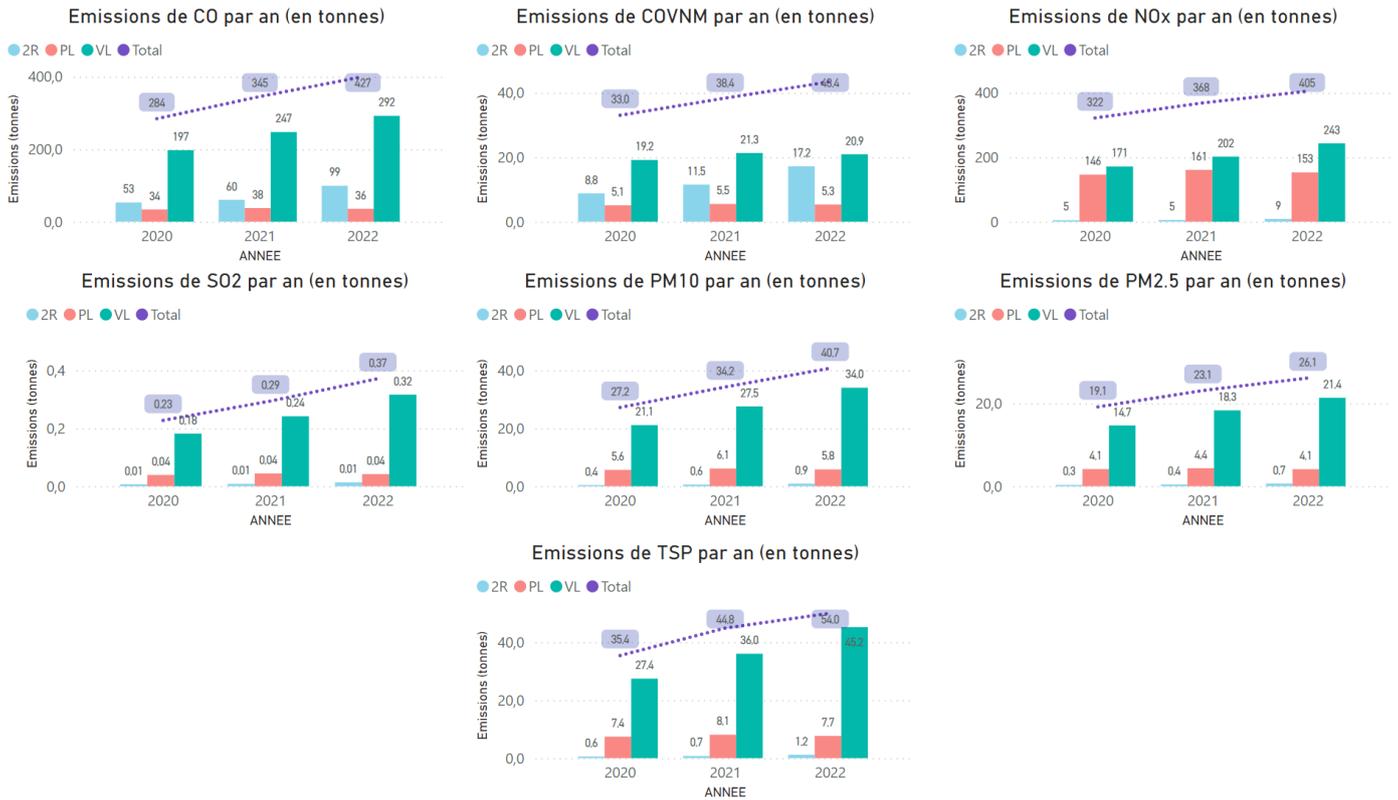


Figure 22: Emissions totales sur les années 2020, 2021 et 2022 issues du trafic routier en zone publique, par polluant et par catégorie de véhicule (2R, VL, PL) ainsi que le total des émissions sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle

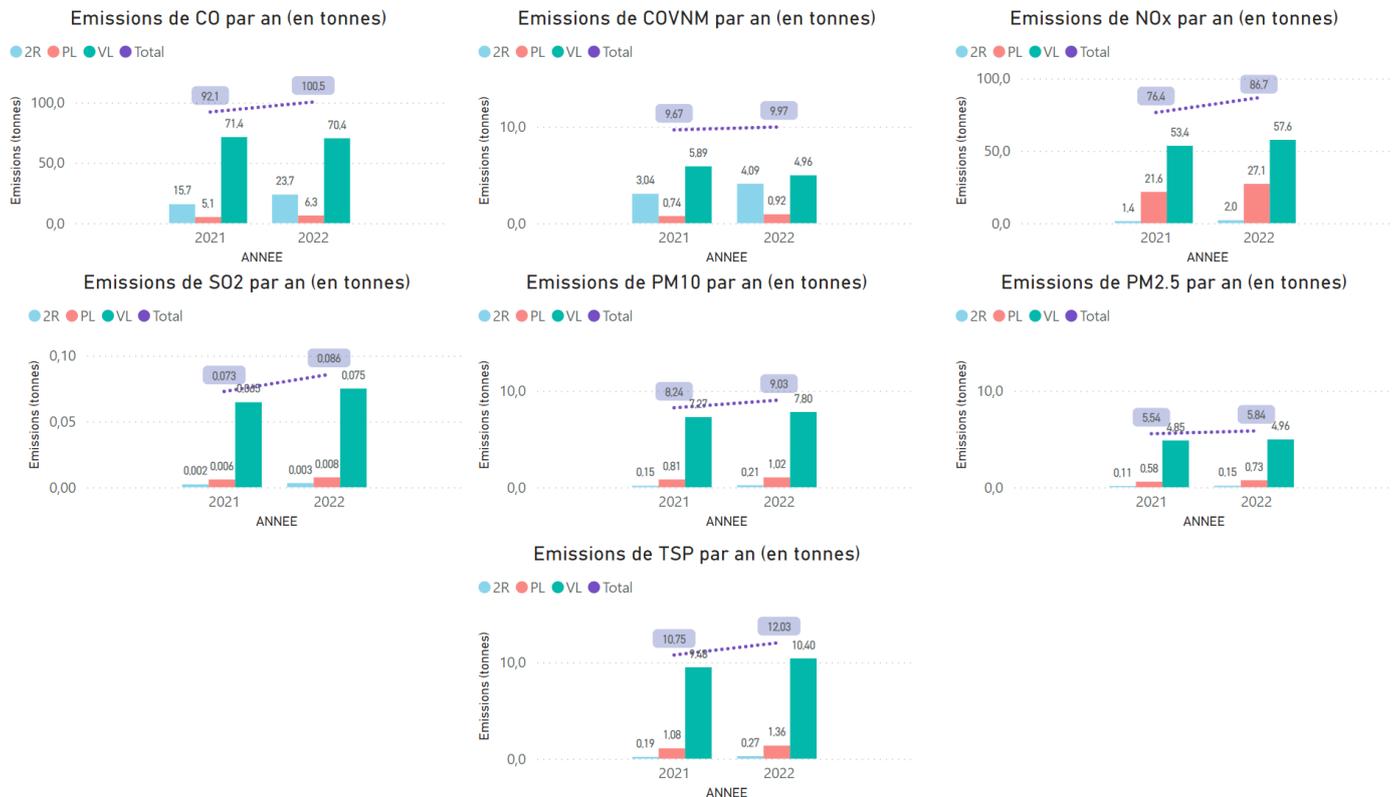


Figure 23: Emissions totales sur les années 2020, 2021 et 2022 issues du trafic routier en zone publique, par polluant et par catégorie de véhicule (2R, VL, PL) ainsi que le total des émissions sur la plateforme Paris-Orly

Sur l'ensemble du réseau (public / réservé)

Les tableaux suivants (Tableau 13 à Tableau 19), sont compilées, lorsque disponibles, les émissions totales par polluant issues du trafic routier (en zone publique et en zone réservée). Les résultats montrent que, quel que soit le polluant :

- la poursuite de la reprise progressive du trafic aérien en 2022 a une influence directe sur les émissions polluantes, en hausse par rapport aux années antérieures ;
- le trafic en zone publique est majoritaire et résulte d'un nombre de véhicules largement supérieurs à celui en zone réservée.

Tableau 13 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier (en zones publique et réservée) sur l'année 2020 – Paris-Charles de Gaulle

Source	Emissions totales par polluant (en tonnes) -2020						
	NOx	CO	COVNM	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Routier zone publique	322	284	33,0	0,23	35,4	27,2	19,1
Routier zone réservée	1,13	0,59	0,06	<0,01	0,04	0,04	0,04

Tableau 14 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier (en zones publique et réservée) sur l'année 2021 – Paris-Charles de Gaulle

Source	Emissions totales par polluant (en tonnes) -2021						
	NOx	CO	COVNM	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Routier zone publique	368	345	38,4	0,29	44,8	34,2	23,1
Routier zone réservée	1,33	0,70	0,07	<0,01	0,05	0,05	0,05

Tableau 15 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier (en zones publique et réservée) sur l'année 2022 – Paris-Charles de Gaulle

Source	Emissions totales par polluant (en tonnes) -2022						
	NOx	CO	COVNM	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Routier zone publique	405	427	43,4	0,37	54,0	40,7	26,1
Routier zone réservée	2,14	1,12	0,11	<0,01	0,08	0,08	0,08

Tableau 16 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier (en zones publique et réservée) sur l'année 2021 – Orly

Source	Emissions totales par polluant (en tonnes) -2021						
	NOx	CO	COVNM	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Routier zone publique	76,4	92,1	9,67	0,073	10,75	8,24	5,54
Routier zone réservée	0,79	0,62	0,06	<0,01	0,03	0,03	0,03

Tableau 17 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier (en zones publique et réservée) sur l'année 2022 – Orly

Source	Emissions totales par polluant (en tonnes) -2022						
	NOx	CO	COVNM	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Routier zone publique	86,7	100,5	9,97	0,086	12,03	9,03	5,84
Routier zone réservée	1,30	1,03	0,11	<0,01	0,05	0,05	0,05

Tableau 18 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier (en zone réservée) sur l'année 2021 – Le Bourget

Source	Emissions totales par polluant (en tonnes) -2021						
	NOx	CO	COVNM	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Routier zone réservée	0,20	0,62	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Tableau 19 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier (en zone réservée) sur l'année 2022 – Le Bourget

Source	Emissions totales par polluant (en tonnes) -2022						
	NOx	CO	COVNM	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Routier zone réservée	0,25	0,12	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01

Partie 5 : le trafic ferroviaire (TGV et RER)

La plateforme de Paris-Charles de Gaulle est un important point du trafic ferroviaire en Ile-de-France. On y retrouve une gare TGV, deux gares RER et la navette CDGVAL. Tous ces moyens de locomotion représentent une source d'émission de particules (TSP, PM₁₀, PM_{2,5}), en raison de phénomènes d'abrasion des freins, des roues, des rails et des caténaires.

Pour l'heure, les émissions du trafic ferroviaire ne sont calculées que sur la plateforme de Paris-Charles de Gaulle. A terme un travail devra être mené pour déterminer l'impact du trafic ferroviaire de Paris-Orly sur les émissions de particules (Orly-Val, futures lignes 14 et 18...).

a) Méthodologie de calcul

La méthodologie utilisée dans le cadre de cet inventaire repose sur :

- Le guide OMINEA 2023 du CITEPA⁴³ pour le calcul des émissions liées au trafic RER et TGV ;
- Le guide méthodologique du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire⁴⁴, associés au guide méthodologique de l'EMEP/EEA⁴⁵ pour les émissions du CDGVAL.

Depuis ce guide, seuls les facteurs d'émission relatifs aux phénomènes d'abrasion des freins, des roues, des rails et des caténaires ont été pris en compte. En effet, la circulation autour des plateformes aéroportuaires concerne uniquement des trains électriques, les émissions dues à l'utilisation de combustibles fossiles par les locomotives et autres engins à moteur Diesel tels que les locotracteurs, n'ont pas été considérées. De plus, toutes les émissions des sources fixes (gares, locaux, etc.) n'ont pas été intégrées dans cet inventaire – relevant des activités du secteur résidentiel / tertiaire et dont le niveau d'information est relativement limité pour pouvoir être estimée de façon fiable.

Les données d'activité permettant de calculer ces émissions proviennent des données consolidées par la SNCF et concernent le nombre de passages par an du RER et du TGV. En complément et en raison du contexte général en 2021 lié à la crise sanitaire mondiale de Covid-19, le bilan 2022 produit par l'AOST (Autorité de la qualité de Service dans les Transports) a été intégré pour mesurer plus précisément la baisse du trafic ferroviaire (offre) au cours de l'année 2022⁴⁶. Les données relatives au nombre de passages du CDGVAL sont issues du Groupe ADP.

La méthodologie, la consolidation des données d'entrée et les facteurs d'émission utilisés pour réaliser le calcul des émissions sont présentés en Annexe 20.

b) Résultats des calculs d'émissions

La synthèse des émissions de particules émises par le trafic ferroviaire par abrasion (roulage + freinage) pour Paris-Charles de Gaulle est présentée dans le Tableau 20 .

Tableau 20: Emissions de particules (en tonnes) par le trafic ferroviaire émises par abrasion (matériels roulants + caténaires) sur l'emprise de la plateforme de Paris-Charles de Gaulle en 2022

Ligne ferroviaire	TSP (tonnes/an)	PM ₁₀ (tonnes/an)	PM _{2,5} (tonnes/an)
RER	14,09	5,34	2,11
TGV	1,63	0,62	0,08
CDGVAL (ligne 1 et ligne LISA)	0,08	0,07	0,04
Total	15,81	6,02	2,22

⁴³ Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France, OMINEA – 20^e édition – Mai 2023

⁴⁴ Guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires territoriaux des émissions atmosphériques (polluants de l'air et gaz à effet de serre) – Ministère de la Transition écologique et solidaire, version n°2, juin 2018

⁴⁵ 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear 2023

⁴⁶ Bilan 2022 de la qualité de service des transports de voyageurs en France, AOST

Partie 6 : Les centrales thermiques

Les centrales thermo frigo électrique (CTFE, CTFE BIS, CTP et CTS) permettent la production d'eau chaude et d'eau froide pour les plateformes de Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly (dont le chauffage et la climatisation dans les terminaux). À Paris-Charles de Gaulle, il existe deux sites différents de production (CTFE et CTFE bis) qui comptabilisent au total 10 cheminées (combustion gaz et biomasse essentiellement), sur Paris-Orly (CTP et CTS), il existe deux sites qui comptabilisent au total 4 cheminées. Ces centrales sont des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et font donc l'objet d'une surveillance réglementaire en continue assurée par les équipes du Laboratoire du Groupe ADP.

a) Méthodologie de calcul

L'instrumentation des cheminées sur chacune des plateformes permet de calculer des flux d'émissions en moyennes horaires qui sont ensuite validés et compilés par chaudières puis par plateforme afin d'établir le bilan des émissions. L'approche utilisée pour déterminer les émissions est de type sophistiqué car les émissions annuelles sont calculées à partir de mesures temps réel. (Cf. Tableau 21)

Tableau 21 Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des CTFE (**en gras les approches retenues pour l'inventaire 2022**)

Ressources	Approche simple	Approche avancée	Approche sophistiquée
Centrales thermiques	Utilisation de données forfaitaires d'émissions maximum.	Utilisation de profil temporel	Utilisation de données minutes

b) Synthèse des émissions

En 2022, les émissions des centrales thermiques, ont été mesurées en continu (données minutes), la synthèse des émissions des 10 cheminées pour Paris-Charles de Gaulle et des 4 cheminées pour Paris-Orly est présentée dans le Tableau 22. L'évolution pluriannuelle des émissions par plateforme est présentée dans les Figure 24 et Figure 25.

Tableau 22: Emissions des polluants des centrales thermiques mesurées en continu pour l'année 2022 en tonnes

Plateforme	NO _x	CO	SO ₂	TSP
Paris-Charles de Gaulle	24,7	5,7	0,8	0,1
Paris-Orly	3,3	0,1	0,2	<0,1

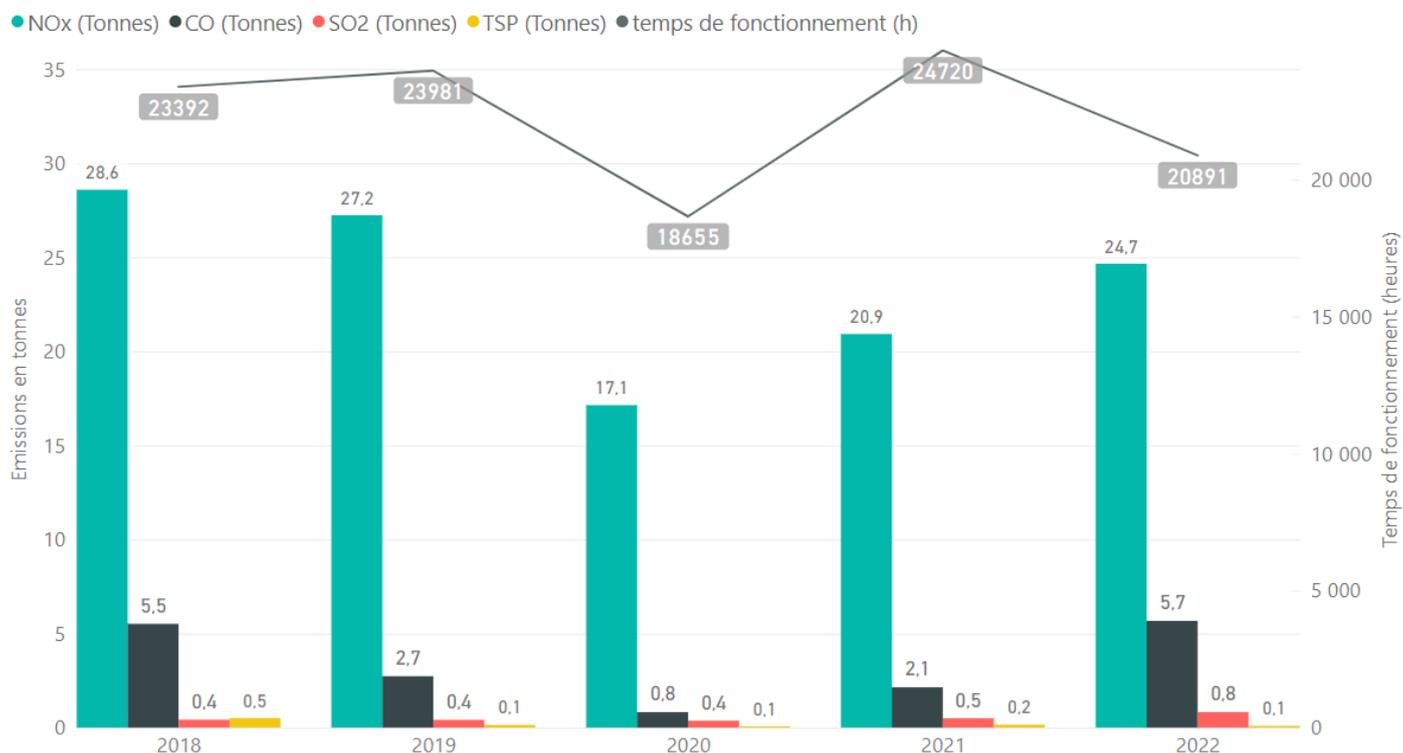


Figure 24 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO_x, CO, TSP et SO₂ et temps de fonctionnement des CTFE de Paris-Charles de Gaulle⁴⁷

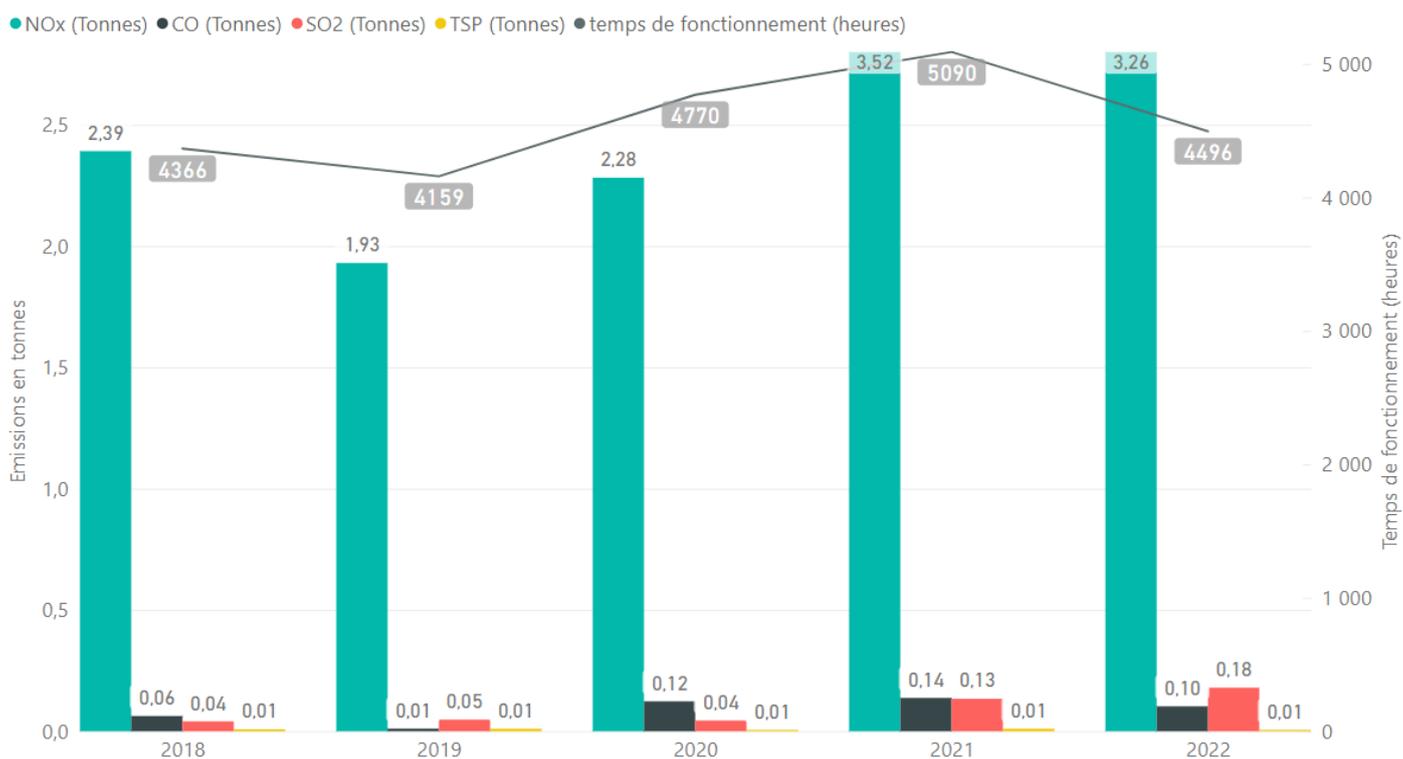


Figure 25 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO_x, CO, TSP et SO₂ et des temps de fonctionnement des CTFE de Paris-Orly

Les émissions sont dépendantes des conditions et des temps d'utilisation annuels des chaudières (combustible, puissance...), des conditions météorologiques et d'exploitation de la plateforme. Ainsi, les émissions ne sont pas uniquement corrélées au temps de fonctionnement des chaudières.

⁴⁷ Les émissions de CO des CTFE pour l'année 2018 à Paris-Charles de Gaulle présentées dans l'inventaire précédant ont été corrigées : 5,5 tonnes au lieu de 55 tonnes (Cf. Inventaire 2018). Il s'agit d'une erreur lors du reporting de la données (divisé par un facteur 100 au lieu d'un facteur 1000)

Les émissions de centrales thermiques de Paris-Charles de Gaulle sont supérieures à celles de Paris-Orly. Ces résultats s'expliquent d'une part, par la différence de tailles entre les deux plateformes et d'autre part par le fait que la plateforme de Paris-Orly utilise également de l'eau chaude (pour le chauffage), produite par la géothermie et par l'usine d'incinération des déchets de Rungis (située à 3 km de la plateforme).

En 2020 à la suite des conséquences de la crise sanitaire qui a conduit à la fermeture de nombreux bâtiments, les émissions de CTFE de Paris-Charles de Gaulle ont diminué. On observe néanmoins une augmentation des émissions des CTFE à Paris-Orly en 2020 malgré la fermeture de la plateforme au cours de la crise sanitaire. Cette augmentation du temps de fonctionnement et des émissions s'explique par la panne des systèmes de géothermie en 2020 et également par l'arrêt des incinérateurs de Rungis (source principale de chaleur sur Paris-Orly) au cours de l'été.

Ainsi pour compenser l'arrêt de ces sources d'énergies extérieures à Paris-Orly, les CTFE ont fonctionné davantage qu'en 2018 malgré la fermeture partielle de la plateforme.

Concernant l'année 2021, on peut observer deux comportements spécifiques propres à chaque plateforme :

- Sur Paris-Charles de Gaulle : Les émissions sont toujours plus faibles que l'année de référence (2019) avec des temps de fonctionnement analogues ;
- Sur Paris-Orly : L'impact de la crise sanitaire sur l'utilisation de la CTP a été négligeable. On observe des augmentations tant sur le temps de fonctionnement que sur les émissions par rapport à l'année de référence (2018).

Enfin, pour l'année 2022, on observe sur les deux plateformes, une légère baisse des temps de fonctionnement par rapport à 2021. Ces temps restent cependant analogues aux temps de fonctionnement usuels notamment réalisés lors des années de référence.

Partie 7 : Essais moteurs

a) Méthodologie de calcul

En 2012, Air France Industries a construit un banc d'essais moteurs de nouvelle génération sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle dans le prolongement du hangar H1. Cette plateforme est capable d'accueillir des moteurs à forte poussée et permet un traitement complet de tous les moteurs, du démontage, en passant par la réparation et les tests.

Les émissions sont calculées pour la phase de tests, uniquement. La méthodologie employée provient de l'OACI⁴⁸ selon une approche sophistiquée telle que définit pour le calcul des émissions sur le cycle LTO. En synthèse, cette approche se résume comme suit :

- Association moteur / aéronef à partir de la référence moteur ;
- Correction des facteurs d'émission selon la performance en fonction des conditions réelles d'utilisation ;
- Intégration de la poussée moteur pour chaque phase considérée (modulée par la valeur de poussée) sur un cycle moteur ;
- Correction sur la consommation de carburant calculée à partir des données réelles.

La description de la méthodologie employée dans cet inventaire est proposée en Annexe 21.

b) Résultats des calculs d'émissions

Les émissions de polluants sont compilées sur la figure suivante (Figure 26) entre l'année 2018 et l'année 2022.

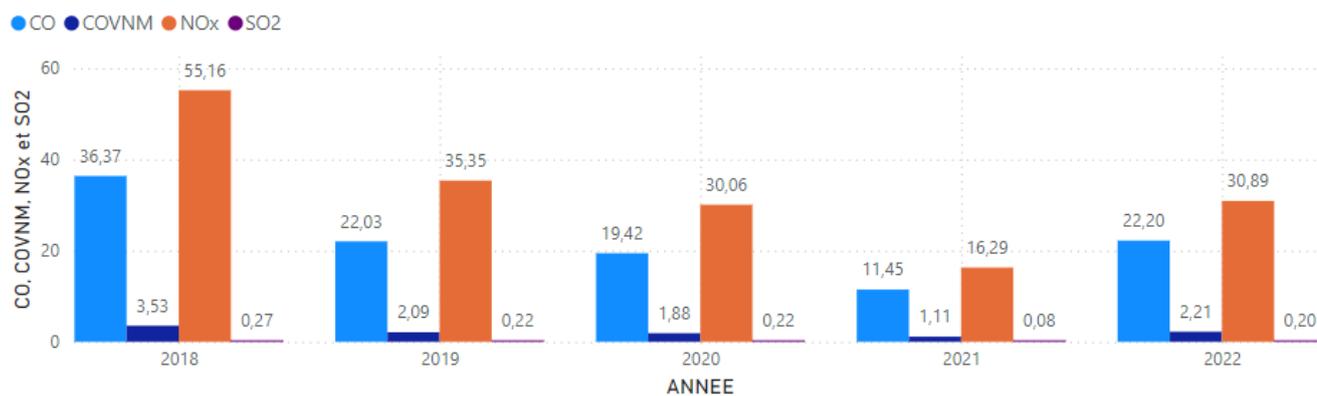
Concernant les gaz, les tendances suivent trois effets : les données de consommations de carburant, le nombre d'essais annuels et la part de chaque moteur testé. Plus précisément :

- En 2018, on observe que les émissions sont les plus importantes sur la période observée - principalement imputables à la part plus élevée d'essais moteurs plus émissifs (notamment le GP7200) et ceci malgré une consommation de carburant plus faible (et un nombre d'essais légèrement plus bas) en 2018 qu'en 2019 par exemple ;
- Durant l'année 2019, le nombre d'essais (et la consommation de carburant) est le plus important sur la période analysée. On observe néanmoins, une baisse des émissions, par rapport à 2018, résultant de la mise en banc de moteurs plus vertueux (CFM56-5C) au détriment de moteur plus émissifs (GP7200) ;
- Cette baisse des émissions s'accroît en 2020 et en 2021 consécutive à la diminution du nombre d'essais (en particulier en 2021, année durant laquelle le nombre d'essais a été le plus faible sur la période étudiée), combinée à la part plus importante de moteurs testés plus vertueux ;
- En 2022, le nombre d'essais augmentent, se rapprochant du nombre d'essais réalisés en 2020. On notera que la consommation totale de carburant reste inférieure en 2022 par rapport à 2020 (Annexe 21). Cependant, les émissions calculées en 2022 atteignent voire dépassent les émissions calculées en 2020 à l'exception du SO₂ (proportionnel à la consommation de carburant de chaque moteur). Cette tendance peut s'expliquer par un nombre d'essais plus important pour le moteur CFM56-5B sensiblement plus émissifs que d'autres moteurs moins testés (GenX).

Concernant les émissions de particules, la tendance est à la baisse entre 2018 et 2021 dont l'influence principale est la mise en banc de moteurs plus vertueux au fil des années. L'augmentation du nombre d'essais en 2022 se traduit par une augmentation des émissions en particules, à des niveaux proches de ceux calculés pour l'année 2020.

⁴⁸ ICAO, Doc 9889, Airport Air Quality Manual, Second Edition, 2020. 3-A1-10

Emissions de polluants (tonne) par an



Emissions de polluant (tonne) par an

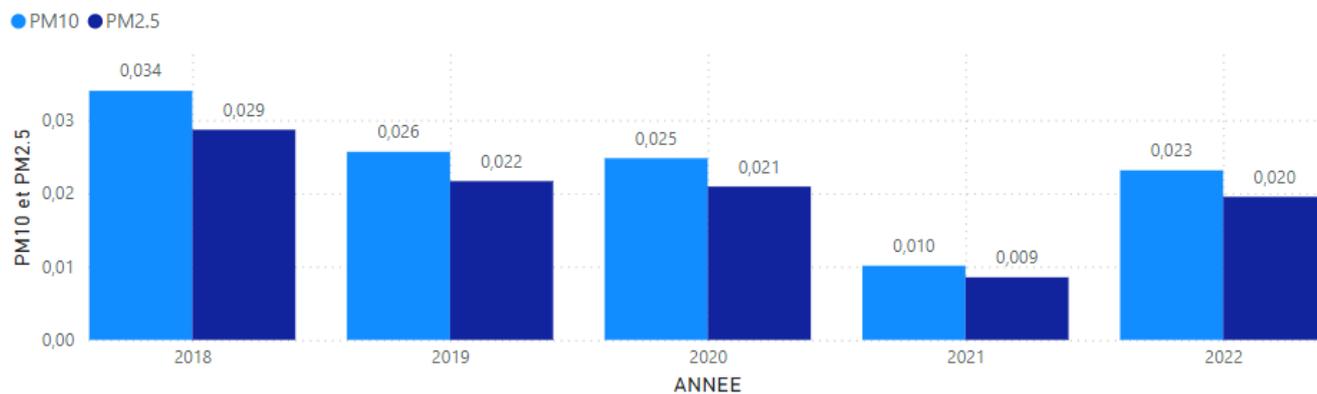


Figure 26 : Evolution pluriannuelle des émissions de NOx, CO, COVNM, SO₂, PM₁₀ et PM_{2,5} lors des essais moteurs sur Paris-Charles de Gaulle

Perspectives d'amélioration engagées par source

Les émissions présentées dans ce rapport, ont été calculées à partir des méthodologies disponibles selon l'état de l'art actuel. Les méthodes employées pour réaliser les calculs des émissions prennent en compte la disponibilité des données d'entrées propre à chaque source, chaque polluant et chaque plateforme. Les études et les réflexions engagées pour améliorer la connaissance et mieux déterminer à long terme les émissions de chacune de ces sources, sont présentées dans cette section. Ces études seront priorisées et engagées selon l'évolution de la situation économique du secteur aérien ainsi que de la pertinence des sources d'émissions à caractériser plus précisément et par conséquent susceptibles d'évoluer notamment sur les échéances de réalisation.

1. Trafic routier en zone publique

- Volume de trafic et réseau routier
Sur Paris-Le Bourget, des boucles de comptage sont en cours d'implantation et permettront de disposer de données routières à proximité de cette plateforme – avec en ligne de mire, un ajout de ces émissions dans l'inventaire 2025.
- Composition du parc roulant
Deux études sont prévues :
 - Une étude des données de comptage en temps réel de Paris-Charles de Gaulle en tenant compte de l'amélioration des systèmes de comptage opérés par le laboratoire du Groupe ADP ;
 - L'évaluation d'un parc roulant Ile de France pour intégrer les spécificités concernant la composition du parc roulant à l'échelle régionale.Ces données, croisées avec les données du parc roulant national déterminé par l'Université Gustave Eiffel, permettront d'évaluer l'impact de ce parc sur les émissions résultantes (étude de sensibilité). Données consolidées en vue de l'inventaire 2023 ou 2024.
- Emissions
Un travail de collecte des véhicules parqués sur chaque plateforme pour évaluer les émissions dites à froid des COVNM sur les véhicules (de type essence) à l'arrêt. L'intégration de ces données est prévue dans l'inventaire 2023.

2. Trafic routier en zone réservée

- Une étude du trafic en zone réservée (auprès de société d'assistant en escale) est nécessaire, pour quantifier les kilomètres parcourus et déterminer les émissions.
- Une mise-à-jour des consommations de carburant par plateforme est en cours. Données consolidées en vue de l'inventaire 2024.

3. APU

- Une campagne d'observation à Paris-Le Bourget devra être menée pour consolider les temps d'utilisation des APU au poste et mieux déterminer leurs émissions sur cette plateforme. Planification de la campagne en 2024.
- Les pratiques d'utilisation de l'APU lors des phases de roulage devront être étudiées, notamment en relation avec les pratiques N-1 moteurs. L'évaluation sur une compagnie pilote permettra d'évaluer l'impact de ces pratiques.
- Des travaux devront être menés afin d'améliorer la connaissance des temps d'utilisation de l'APU (vol à vol) sur l'ensemble des plateformes. Une campagne annuelle est en cours de finalisation et concerne les années 2022, 2023 et 2024. Les premiers résultats sont attendus pour fin 2024 avec en ligne de mire un affinage des temps d'utilisation APU à partir de l'inventaire 2023 ou 2024.

4. LTO

- Les temps d'utilisation réels (TIM : Time in Mode) de chaque phase du cycle (hors roulage) devront être déterminés (exploitation des données radar). Etude planifiée pour 2025.
- Une étude de sensibilité concernant l'impact de la hauteur de couche limite réelle sur l'inventaire des émissions est planifiée pour 2025 et comparé aux résultats des années 2000 réalisés par Airparif et rapportés dans le guide méthodologique du PCIT⁴⁹.

⁴⁹ MTES - Guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires territoriaux des émissions atmosphériques (polluants et gaz à effet de serre) – 2019 (document téléchargeable sur le site du LCSQA)

- Une étude sur les pratiques du N-1 moteur lors des phases de roulage par compagnie et leurs impacts sur le calcul des émissions est en cours avec des premiers résultats pour 2024. Cette étude permettra d'affiner les calculs des émissions au roulage, considérées à l'heure actuelle comme majorantes compte tenu du fonctionnement sans interruption des moteurs durant cette phase.

5. GSE

- Les études menées sur cette source devront être poursuivies notamment pour la détermination de facteurs d'émission en lien avec les activités spécifiques des plateformes (Paris-Orly, Paris-Le Bourget, cas spécifique du cargo, etc.). Une campagne spécifique sera reprogrammée sur la période 2024/2025.
- Des études spécifiques sur les émissions des GSE au roulage en zone réservée devront être menées (non planifiées).

6. Ajout des émissions cadastrées

- L'inventaire des émissions atmosphériques sera complété par une spatialisation des émissions (sous forme de cadastre) à partir de l'inventaire 2023.

7. Ajout de polluants

- Les émissions particulières en nombre, une spéciation des COVNM est cours d'évaluation et pourront être présentées dans l'inventaire 2024.

Annexes

Annexe 1 : Sources retenues dans l'inventaire 2022 et travaux réalisés et en cours	73
Annexe 2 : Synthèse des méthodes de calcul et des données d'entrée par plateforme et par secteur d'activité	74
Annexe 3 : Liste des avions par type de porteur et par classe OACI sur les trois plateformes aéroportuaires	76
Annexe 4 : Méthodologie de calcul des émissions sur le cycle LTO	77
Annexe 5 : Tableau des résultats des émissions pour le cycle LTO – Paris-Charles de Gaulle	80
Annexe 6 : Tableau des résultats des émissions pour le cycle LTO – Paris-Orly	81
Annexe 7 : Tableau des résultats des émissions pour le cycle LTO – Paris-Le Bourget.....	82
Annexe 8 : Méthodologie de calcul des émissions APU	83
Annexe 9 : Tableau des résultats des émissions APU – Paris-Charles de Gaulle.....	85
Annexe 10 : Tableau des résultats des émissions APU – Paris-Orly	86
Annexe 11 : Tableau des résultats des émissions APU – Paris-Le Bourget	87
Annexe 12 : Méthodologie de calcul des émissions GSE dont GPU	88
Annexe 13 : Tableau des résultats des émissions GSE – Paris-Charles de Gaulle	94
Annexe 14 : Tableau des résultats des émissions GSE – Paris-Orly.....	95
Annexe 15 : Tableau des résultats des émissions GSE – Paris-Le Bourget	96
Annexe 16 : Méthodologie de calcul des émissions de COVNM lors de l'avitaillement des avions	97
Annexe 17 : Méthodologie de calcul des émissions du trafic routier en zone publique	99
Annexe 18 : Méthodologie de calcul des émissions du trafic routier en zone réservée.....	112
Annexe 19 : Tableau des résultats des émissions du trafic routier en zone publique – Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly	114
Annexe 20 : Méthodologie de calcul des émissions liées au trafic ferroviaire	115
Annexe 21 : Méthodologie de calcul des émissions liées aux essais moteurs	118

Annexe 1 : Sources retenues dans l'inventaire 2022 et travaux réalisés et en cours

Le tableau ci-dessous précise les sources retenues dans l'inventaire des émissions 2022. Un code couleur est proposé (détaillé dans la légende) et permet de suivre les évolutions concernant la prise en compte des sources dans l'inventaire actuel. Les catégories sont les suivantes :

- Non applicable : la source considérée a été considérée comme négligeable pour le polluant concerné et/ou la plateforme aéroportuaire ;
- Pris en compte / aucun changement par rapport à l'année précédente : La source a déjà été considérée dans l'inventaire annuel précédent. Il n'y a aucun changement apporté à la méthodologie de calcul – ni sur le périmètre d'application (plateforme, polluant), seules les données d'activité peuvent changer d'une année à l'autre ;
- Pris en compte pour la première fois dans l'inventaire : il s'agit d'une source qui a été considérée pour la première fois dans l'inventaire des émissions et qui était inexistante dans l'inventaire précédent ;
- Amélioration sur la méthode apportée par rapport à l'année précédente : la source d'émission a déjà été mise en place dans les inventaires précédents. Néanmoins, une amélioration méthodologique notable a été apportée dans l'inventaire actuel permettant d'affiner le calcul, d'ajouter un ou plusieurs polluants.

Sources	Plateforme			Combustion							Abrasion			Evaporation
	CDG	ORY	LBG	NOx	CO	SO2	COVNM	TSP	PM10	PM2.5	TSP	PM10	PM2.5	COVNM
10 - LTO - Approche														
11 - LTO - Roulage (A)														
12 - LTO - Roulage (D)														
13 - LTO - Décollage														
14 - LTO - Montée														
15 - Poste avion (APU/moteur)														
20 - GSE														
30 - Avitaillement avions														
40 - Dégivrage avion / piste														
50 - Centrales thermiques														
60 - Ferroviaire														
70 - Routier - côté ville														
71 - Routier - côté piste														
80 - Essais Moteurs														

Légende :

- Non applicable
- Pris en compte / aucun changement par rapport à l'année précédente
- Pris en compte pour la première fois dans l'inventaire
- Amélioration sur la méthode apportée par rapport à l'année précédente
- Des travaux complémentaires sont en cours / à mener

Annexe 2 : Synthèse des méthodes de calcul et des données d'entrée par plateforme et par secteur d'activité

Plateforme	Sources d'émissions	Méthode de calcul et données d'entrée
Paris-Charles de Gaulle	10 - LTO - Approche 11 - LTO - Roulage (D) 12 - LTO - Roulage (A) 13 - LTO - Décollage 14 - LTO - Montée	<ul style="list-style-type: none"> Temps forfaitaire OACI (excepté pour le roulage = temps réel vol à vol) Facteurs OACI par type moteur Temps réel vol à vol Abrasion : Facteurs d'émission CITEPA (contact sol des aéronefs)
	15 - APU	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs d'émission par catégorie avion Temps d'utilisation moyen de la plateforme (étude ACNUSA)
	20 - GSE	<ul style="list-style-type: none"> Temps d'utilisation moyen de la plateforme Facteurs d'émission déterminés à partir d'une méthode de calcul de l'OACI propre à la flotte de Paris-Charles de Gaulle
	30 – Avitaillement avion	<ul style="list-style-type: none"> Emissions estimées à partir des données de consommation de carburant
	50 - Centrales thermiques	<ul style="list-style-type: none"> Mesure de données minutes
	60 - Ferroviaire	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs d'émission CITEPA (freinage)
	70 - Routier (Zone Publique)	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs d'émissions COPERT V (combustion et abrasion) Flux routier modélisé sur la plateforme, basé sur les comptages opérés par le groupe ADP Parc roulant Français de l'université Gustave Eiffel (ex-IFSTTAR)
	71 - Routier (Zone Réservee)	<ul style="list-style-type: none"> Emissions estimées à partir des données de consommation de carburant concernant la flotte ADP uniquement
	80 - Essais moteurs	<ul style="list-style-type: none"> Données de consommation carburant réelles Facteurs OACI par type moteur
Paris-Orly	10 - LTO - Approche 11 - LTO - Roulage (D) 12 - LTO - Roulage (A) 13 - LTO - Décollage 14 - LTO - Montée	<ul style="list-style-type: none"> Temps forfaitaire OACI (excepté pour le roulage = temps réel vol à vol) Facteurs OACI par type moteur Temps réel vol à vol Abrasion : Facteurs d'émission CITEPA (contact sol des aéronefs)
	15 - APU	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs d'émission par catégorie avion Temps d'utilisation moyen de la plateforme (étude ACNUSA)
	20 - GSE	<ul style="list-style-type: none"> Temps d'utilisation moyen de la plateforme Facteurs d'émission déterminés à partir d'une méthode de calcul de l'OACI propre à la flotte de Paris-Charles de Gaulle
	30 – Avitaillement avion	<ul style="list-style-type: none"> Emissions estimées à partir des données de consommation de carburant
	50 - Centrales thermiques	<ul style="list-style-type: none"> Mesure de données minutes
	60 - Ferroviaire	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs d'émission CITEPA (freinage)
	70 - Routier (Zone Publique)	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs d'émission COPERT V (combustion et abrasion) Flux routier modélisé sur la plateforme, basé sur les comptages opérés par le groupe ADP Parc roulant Français de l'université Gustave Eiffel (ex-IFSTTAR)
	71 - Routier (Zone Réservee)	<ul style="list-style-type: none"> Emissions estimées à partir des données de consommation de carburant concernant la flotte ADP uniquement
	80 - Essais moteurs	Non Applicable

Plateforme	Sources d'émissions	Méthode de calcul et données d'entrée
Paris-Le Bourget	10 – LTO - Approche 11 – LTO - Roulage (D) 12 – LTO - Roulage (A) 13 – LTO - Décollage 14 – LTO - Montée	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs d'émission OACI Trafic détaillé vol à vol Temps des phases du cycle LTO OACI (excepté pour le roulage estimé à 5 minutes à l'arrivée et 5 minutes au départ)) Abrasion : Facteurs d'émission CITEPA (contact sol des aéronefs)
	15 - APU	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs d'émission par catégorie avion Temps d'utilisation moyen de la plateforme (étude ACNUSA)
	20 - GSE	<ul style="list-style-type: none"> Consommation de carburant GNR Facteurs d'émission moyen par polluant – sans distinction GSE
	30 – Avitaillement avion	<ul style="list-style-type: none"> Emissions estimées à partir des données de consommation de carburant
	50 - Centrales thermiques	Non calculé
	60 - Ferroviaire	Non Applicable
	70 - Routier (Zone Publique)	Non calculé
	71 - Routier (Zone Réservee)	<ul style="list-style-type: none"> Emissions estimées à partir des données de consommation de carburant concernant la flotte ADP uniquement
	80 - Essais moteurs	Non Applicable

Annexe 3 : Liste des avions par type de porteur et par classe OACI sur les trois plateformes aéroportuaires

Type avion	Type porteur	Classe OACI	Type avion	Type porteur	Classe OACI	Type avion	Type porteur	Classe OACI	Type avion	Type porteur	Classe OACI	Type avion	Type porteur	Classe OACI
A109	LIGHT		B737	MEDIUM	C2	C551	LIGHT		F100	MEDIUM	C1	PA32	LIGHT	
A124	HEAVY	F	B738	MEDIUM	C2	C55B	MEDIUM		F2TH	MEDIUM	B	PA34	LIGHT	
A139	LIGHT		B739	MEDIUM	C2	C560	MEDIUM	B	F50	MEDIUM		PA46	LIGHT	
A140	MEDIUM		B742	HEAVY	E	C56X	MEDIUM	B	F900	MEDIUM	B	PAY3	LIGHT	
A148	MEDIUM	C1	B744	HEAVY	E	C650	MEDIUM	B	FA10	LIGHT	A	PC12	LIGHT	
A19N	MEDIUM		B748	HEAVY	E	C680	MEDIUM	B	FA20	LIGHT	B	PC21	LIGHT	
A20N	MEDIUM	C2	B74R	HEAVY	E	C68A	MEDIUM		FA50	MEDIUM	B	PC24	LIGHT	
A21N	MEDIUM	C2	B752	MEDIUM_HEAVY	D	C700	MEDIUM		FA7X	MEDIUM	B	PRM1	LIGHT	
A306	HEAVY	D	B753	MEDIUM_HEAVY	D	C750	MEDIUM	B	FA8X	LIGHT	C1	RJ1H	MEDIUM_HEAVY	C1
A30B	HEAVY	D	B762	HEAVY	D	C77R	LIGHT		G150	MEDIUM		RJ85	MEDIUM_HEAVY	C1
A310	HEAVY	D	B763	HEAVY	D	CL30	MEDIUM		G280	MEDIUM	B	S22T	LIGHT	
A318	MEDIUM	C2	B764	HEAVY	D	CL35	MEDIUM		GA5C	MEDIUM	B	SB20	MEDIUM	C1
A319	MEDIUM	C2	B772	HEAVY	E	CL60	MEDIUM	B	GA6C	MEDIUM		SF34	MEDIUM	B
A320	MEDIUM	C2	B773	HEAVY	E	CN35	MEDIUM		GALX	MEDIUM	B	SF50	LIGHT	
A321	MEDIUM	C2	B77L	HEAVY	E	CR11	MEDIUM	C1	GL5T	MEDIUM		SR20	LIGHT	
A332	HEAVY	E	B77W	HEAVY	E	CRJ2	MEDIUM	C1	GL6T	MEDIUM		SR22	LIGHT	
A333	HEAVY	E	B788	HEAVY	E	CRJ7	MEDIUM	C1	GL7T	MEDIUM		SU95	MEDIUM	
A338	HEAVY	E	B789	HEAVY	E	CRJ9	MEDIUM	C1	GLEX	MEDIUM		SW3	LIGHT	
A339	HEAVY	E	B78X	HEAVY	E	CRJX	MEDIUM	C1	GLF3	MEDIUM	B	SW4	MEDIUM	B
A342	HEAVY	E	BCS1	MEDIUM	C2	D228	LIGHT		GLF4	MEDIUM	B	T204	MEDIUM	D
A343	HEAVY	E	BCS3	MEDIUM	C2	D328	MEDIUM	B	GLF5	MEDIUM	B	TB20	LIGHT	
A345	HEAVY	E	BE20	LIGHT		DA40	LIGHT		GLF6	LIGHT	B	TBM7	LIGHT	
A346	HEAVY	E	BE30	LIGHT		DA42	LIGHT		H25B	MEDIUM		TBM9	LIGHT	
A359	HEAVY	E	BE33	LIGHT		DA62	LIGHT		H25C	MEDIUM		TEX2	LIGHT	
A35K	HEAVY	E	BE35	LIGHT		DC3	MEDIUM		HA4T	MEDIUM		VTOR	LIGHT	
A388	JUMBO	F	BE40	MEDIUM		DC86	HEAVY		HDJT	LIGHT				
AN26	MEDIUM		BE58	LIGHT	B	DH8B	MEDIUM	C	IL76	HEAVY				
ASTR	MEDIUM		BE99	LIGHT		DH8D	MEDIUM	C1	IL96	HEAVY	D			
AT42	MEDIUM	C1	BE9L	LIGHT		DHC6	LIGHT		KC39	MEDIUM				
AT44	MEDIUM	C1	BER2	MEDIUM		E110	LIGHT		KODI	LIGHT				
AT45	MEDIUM	C1	C130	MEDIUM_HEAVY		E120	MEDIUM	B	LJ28	LIGHT				
AT46	MEDIUM	C1	C17	HEAVY		E135	MEDIUM	B	LJ31	MEDIUM				
AT72	MEDIUM	C1	C172	LIGHT		E145	LIGHT	B	LJ35	MEDIUM				
AT75	MEDIUM		C182	LIGHT		E170	MEDIUM	C1	LJ40	LIGHT				
AT76	MEDIUM		C206	LIGHT	B	E190	MEDIUM	C1	LJ45	MEDIUM				
ATP	MEDIUM	C1	C208	LIGHT		E195	MEDIUM	C1	LJ55	LIGHT				
B190	MEDIUM	B	C210	LIGHT		E314	LIGHT		LJ60	MEDIUM				
B38M	MEDIUM	C2	C25A	LIGHT		E35L	MEDIUM		LJ75	LIGHT				
B39M	MEDIUM	C2	C25B	LIGHT		E450	LIGHT		MD11	HEAVY	D			
B462	MEDIUM_HEAVY	C1	C25C	MEDIUM		E500	LIGHT		MD82	MEDIUM	C2			
B463	MEDIUM_HEAVY	C1	C25M	LIGHT		E50P	LIGHT		MD83	MEDIUM	C2			
B712	MEDIUM	C2	C414	LIGHT		E545	LIGHT		MD87	MEDIUM	C2			
B721	MEDIUM		C421	LIGHT		E550	MEDIUM		MU2	LIGHT				
B722	MEDIUM		C425	LIGHT		E55P	LIGHT		N/D					
B732	MEDIUM	C2	C500	LIGHT		EA50	LIGHT		P180	LIGHT				
B733	MEDIUM	C2	C501	LIGHT		EC35	LIGHT	H	P28A	LIGHT				
B734	MEDIUM	C2	C510	LIGHT	B	EC45	LIGHT	H	P68	LIGHT				
B735	MEDIUM	C2	C525	LIGHT	B	EC75	LIGHT	H	P808	MEDIUM				
B736	MEDIUM	C2	C550	LIGHT	B	EXPL	LIGHT		PA31	LIGHT				

Annexe 4 : Méthodologie de calcul des émissions sur le cycle LTO

Paramètres		Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du cycle LTO
Méthodologie de calcul		<p>Méthodologie OACI Calcul d'émissions LTO : Simple approach (option B)</p> <p>L'approche de calcul simplifiée option B décrite dans le guide 9889 (OACI, 2020⁵⁰) pages 3-A1-12/13/14 est utilisée pour déterminer les émissions du cycle LTO.</p> <p>La formule globale de calcul appliquée à chaque mouvement "Arrivée" ou "Départ" est décrite ci-dessous. L'approche utilisée est de type "avancée" et "sophistiquée" selon OACI⁵¹. (Cf. Table 3-A1-2)</p> $E_{ij} = \sum (TIM_{jk} * 60) * (FF_{jk}) * (E_{ijk}) * (N_{ej})$ <p>Eijk (g/LTO) = Total des émissions de polluants "i" produit par un type avion "j" en un cycle LTO. Eijk (g/kg de carburant) = facteur d'émission par polluant "i" par kilogramme de fuel, pour chaque phase du cycle LTO "k" et pour chaque de moteur utilisé par un type avion "j" TIMjk (min) = Temps de fonctionnement des moteurs pour chaque phase du cycle LTO "k" pour chaque moteur de l'avion Nej = Nombre de moteur pour un type avion "j" FFjk (kg/s) = Consommation de carburants pour chaque phase du cycle LTO "k", en pour chaque des moteurs utilisés par un type avion "j".</p>
Temps de chaque phase LTO	Approche, Décollage et montée	<p>Pour Paris-Orly, Paris-Charles de Gaulle et Paris-Le Bourget, les temps de références pour les phases d'approche, de décollage et de montée du cycle LTO, utilisés pour réaliser les calculs d'émissions sont donnés par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Approche = 4 min - Décollage = 0,7 min - Montée = 2,2 min
	Roulage (Tr)	<p>Pour Paris-Orly et Paris-Charles de Gaulle les temps de roulage sont calculés vols à vols et associés à un avion grâce aux données présentent dans la base trafic selon cette méthode :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tr arrivée = AIBT-ALDT (Entrée au Block - touchée des roues) - Tr départ = ATOT-AOBT (Décollage – Sortie du Block) <p>Pour Paris-Le Bourget, les données du trafic actuel ne permettent pas de calculer le temps de roulage "réel" vol à vol. En l'absence de ces informations le temps de roulage utilisé pour calculer des émissions, est celui estimé d'après le Groupe de travail Airparif/DGAC/Groupe ADP à :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tr arrivée = 5min - Tr départ = 5min
Association Moteur – Immatriculation		<p>Permet d'associer une immatriculation d'avion à un type moteurs et à ses caractéristiques (Type de carburant, consommation de carburant par phase du cycle LTO)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intégration des données Ascendfeed Si les données Ascendfeed ne permettent pas d'associer l'immatriculation à un modèle de moteur spécifique, (à ce stade 99% de correspondance dans nos bases de données) l'attribution par défaut est réalisée en affectant : 2. Le modèle de moteur majoritairement associé au type avion associé à l'immatriculation à la date du mouvement. En l'absence de correspondance, la recherche est étendue pour une correspondance sur le mois en cours puis sur l'année de calcul. <p>Si toujours pas de correspondance (à ce stade ≈99% avec correspondance dans nos bases de données) l'attribution est réalisée en affectant :</p>

⁵⁰ https://www.icao.int/publications/Documents/9889_cons_en.pdf

⁵¹ Document 9889 OACI p 3-A1-13

Paramètres		Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du cycle LTO
		<p>3. Le type de modèle du moteur le plus répandu pour le type avion est recherché sur internet, le modèle présent dans nos bases le plus ressemblant (puissance, carburant, taille de l'avion...) est alors déterminé et ces informations sont intégrées à nos bases de données.</p> <p>Si au terme de ce processus aucune correspondance n'est déterminée, les vols ne sont pas pris en compte dans nos calculs d'émissions.</p>
Facteurs d'émission issus de la combustion	NO _x , COVNM, CO et SO ₂	<p>Les facteurs d'émission NO_x, HC, CO sont déterminés par type moteur à partir de EEDB de l'OACI</p> <p>Le facteur SO₂ est déterminés selon la DGAC⁵² à partir du rapport de volume d'éléments soufrés dans le carburant avion – en supposant une conversion complète en SO₂ :</p> <p>SO₂ = 1 g / kg de carburant</p>
	Cas particulier des PM	<p>Les Facteurs d'émission des PM sont déterminés selon trois méthodes :</p> <ol style="list-style-type: none"> Le facteur d'émission est déterminé en fonction de la consommation de carburant de chaque phase du cycle LTO (gramme de polluant émis par Gigajoule consommé⁵³) selon la méthodologie du guide OMINEA (2023) : <ul style="list-style-type: none"> TSP = PM₁₀ = 11 g/GJ de fuel PM_{2.5} = 9,6 g/GJ de fuel Le facteur d'émission a été mis à jour en 2019, il est à présent déterminé en fonction de la consommation de carburant de chaque phase du cycle LTO (gramme de polluant par tonne de carburant consommé) selon le guide OMINEA (2023) : <ul style="list-style-type: none"> TSP = PM₁₀ = 500 g/t PM_{2.5} = 422 g/t Le facteur d'émission est déterminé selon la méthodologie FOA 3.0 de l'OACI⁵⁴ via le Smoke Number (SN). Cette approche méthodologique est préconisée par l'OACI pour estimer les émissions particulières à la fois non-volatiles type suies (PM_{nv}) et volatiles (PM_{vol}). Les émissions sont calculées en fonction de la consommation de carburant par type de moteur et par phase du cycle LTO. Les différents paramètres et la méthodologie de calcul utilisés sont détaillés dans le paragraphe suivant : <p style="text-align: center;">PM_{vol-fuelOrganics} = (δ) . (EI_{HC engine}) mg/kg de fuel</p> <div style="border: 1px solid black; background-color: #0056b3; color: white; padding: 5px; text-align: center; margin: 10px 0;"> <p>PM_{total} = PM_{vol-fuelOrganics} + PM_{vol-FSC} + PM_{nv}</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> PM_{vol-FSC} = (10)⁶ . [(FSC)(ε)(MW_{out}) / (MW Sulphur)] = 49 mg/kg de fuel PM_{nv} = (CI).(Q) mg/kg de fuel <ul style="list-style-type: none"> Si SN < 30 → CI = 0.06949 (SN)^{1.234} mg/m³ Si SN > 30 → CI = 0.0297 (SN)² – 1.803 (SN) + 31.94 mg/m³ Si un flux moteur du cœur "TF" → Q_{core} = 0.776(AFR) + 0.877 m³/kg Si un flux mixte "MTF" → Q_{mixed} = 0.7769 (AFR)(1+BPR) + 0.877 m³/kg <p><u>Facteurs constants :</u></p> <p>FSC = 0.068% du poids (Fuel sulphur content) → Facteur OACI</p> <p>ε = 2.4% du poids (Fuel sulphur conversion efficiency) → Facteur OACI</p> <p>MW_{out} = 96 → Poids moléculaire du (SO₄⁻²)</p> <p>MW_{Sulphur} = 32 → Poids moléculaire du soufre (S^{IV})</p>

⁵² https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/calc_emis_aero.pdf Page 21

⁵³ <https://www.citepa.org/fr/>

⁵⁴ Doc 9889 OACI (p 3-A1-41 à 3-A1-50)

Paramètres		Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du cycle LTO																					
Facteurs d'émission issus de la combustion	Cas particulier des PM	<p>Facteurs variables en fonction du type moteur dans l'EEDB de l'OACI :</p> <p>"TF" = Moteur Turbo fan "MTF" = Moteur Mixte turbo fan SN = Smoke Number BPR = Bypass ratio EI_{HC engine} = Indice d'émission HC du moteur</p>																					
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Phase du cycle LTO</th> <th>Réglage de l'alimentation</th> <th>AFR = Air fuel ratio</th> <th> $\delta = \frac{EI_{PMvol-orgCFM56}}{EI_{HCCFM56}}$ (CFM56 → Type de moteur EEDB OACI) </th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Roulage</td> <td>7%</td> <td>106</td> <td>115</td> </tr> <tr> <td>Approche</td> <td>30%</td> <td>83</td> <td>76</td> </tr> <tr> <td>Montée</td> <td>85%</td> <td>51</td> <td>56.25</td> </tr> <tr> <td>Décollage</td> <td>100%</td> <td>45</td> <td>6.17</td> </tr> </tbody> </table>	Phase du cycle LTO	Réglage de l'alimentation	AFR = Air fuel ratio	$\delta = \frac{EI_{PMvol-orgCFM56}}{EI_{HCCFM56}}$ (CFM56 → Type de moteur EEDB OACI)	Roulage	7%	106	115	Approche	30%	83	76	Montée	85%	51	56.25	Décollage	100%	45	6.17	
Phase du cycle LTO	Réglage de l'alimentation	AFR = Air fuel ratio	$\delta = \frac{EI_{PMvol-orgCFM56}}{EI_{HCCFM56}}$ (CFM56 → Type de moteur EEDB OACI)																				
Roulage	7%	106	115																				
Approche	30%	83	76																				
Montée	85%	51	56.25																				
Décollage	100%	45	6.17																				
Facteurs d'émission issus de l'abrasion	TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5}	<p>Les émissions des TSP, PM₁₀, PM_{2.5} issues de l'abrasion sont déterminées selon les facteurs d'émission du guide OMINEA (2023) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • TSP = 381 g/LTO • PM₁₀ = 190 g/LTO • PM_{2.5} = 111 g/LTO 																					

Annexe 5 : Tableau des résultats des émissions pour le cycle LTO – Paris-Charles de Gaulle

Emissions CO (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	32,67	1262,33	2253,90	12,32	128,31	3689,53
2019	34,00	1234,93	2105,07	12,79	131,73	3518,52
2020	14,14	576,68	866,38	5,35	58,30	1520,85
2021	16,37	670,46	990,83	6,17	67,26	1751,09
2022	25,66	1009,58	1596,73	9,72	103,90	2745,58
Emissions COVNM (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	4,78	142,86	256,01	1,83	9,41	414,89
2019	4,82	137,79	234,02	1,82	9,20	387,65
2020	2,01	61,62	91,73	0,78	3,72	159,85
2021	2,25	69,15	102,21	0,88	2,25	178,57
2022	3,65	100,59	160,47	1,38	6,20	272,28
Emissions NOx (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	2251,22	202,12	362,06	1177,59	599,56	4592,55
2019	2330,18	209,52	360,83	1224,67	610,28	4735,47
2020	1040,92	98,35	149,64	552,84	278,30	2120,05
2021	1240,34	116,58	173,12	664,85	323,28	2518,15
2022	1917,66	178,12	282,73	1023,13	497,85	3899,49
Emissions SO2 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	86,63	43,36	77,31	34,00	52,10	293,40
2019	89,30	44,39	75,94	35,08	53,52	298,23
2020	39,19	20,59	31,18	15,43	23,74	130,12
2021	46,21	24,41	36,19	18,20	27,49	152,50
2022	72,22	37,48	59,31	28,41	43,10	240,52
Emissions PM10 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	7,57	3,57	6,38	3,18	3,92	24,61
2019	7,97	3,51	6,02	3,34	4,08	24,92
2020	3,27	1,57	2,39	1,39	1,74	10,36
2021	3,70	1,83	2,71	1,57	2,00	11,81
2022	6,07	2,82	4,48	2,52	3,23	19,12
Emissions PM2,5 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	6,39	3,01	5,38	2,68	3,31	20,77
2019	6,73	2,96	5,08	2,82	3,45	21,03
2020	2,76	1,33	2,01	1,17	1,47	8,74
2021	3,12	1,55	2,29	1,32	1,69	9,97
2022	5,12	2,38	3,78	2,13	2,73	16,13
Emissions par abrasion (tonnes)						
Année	TSP	PM2,5	PM10			
2018	91,62	26,69	45,69			
2019	94,90	27,65	47,33			
2020	40,44	11,78	20,17			
2021	47,65	23,76	13,88			
2022	76,74	38,27	22,36			

Annexe 6 : Tableau des résultats des émissions pour le cycle LTO – Paris-Orly

Emissions CO (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	12,62	274,80	459,51	4,80	51,58	803,31
2019	11,74	266,58	472,32	4,46	49,24	804,34
2020	4,59	94,89	168,47	1,71	18,76	288,41
2021	6,13	136,59	236,86	2,29	26,88	408,76
2022	9,46	230,29	399,95	3,63	43,74	687,08

Emissions COVNM (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	1,77	23,54	39,30	0,65	3,10	68,37
2019	1,60	22,74	40,38	0,59	2,89	68,19
2020	0,59	8,29	14,48	0,21	1,13	24,70
2021	0,82	11,59	19,98	0,29	1,54	34,21
2022	1,20	17,93	31,29	0,42	2,21	53,05

Emissions NOx (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	630,92	47,91	79,39	317,33	185,49	1261,04
2019	606,46	47,13	82,96	306,32	178,26	1221,14
2020	251,05	17,07	30,10	128,22	70,97	497,42
2021	362,04	24,19	41,99	185,77	100,60	714,58
2022	604,21	42,82	73,91	309,48	168,43	1198,85

Emissions SO2 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	30,04	10,67	17,66	11,71	18,44	88,52
2019	28,75	10,46	18,40	11,21	17,60	86,42
2020	11,26	3,75	6,60	4,39	6,92	32,93
2021	16,15	5,30	9,20	6,30	9,90	46,85
2022	27,09	9,27	16,06	10,57	16,63	79,62

Emissions PM10 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	2,93	0,83	1,37	1,20	1,51	7,82
2019	2,84	0,78	1,36	1,18	1,50	7,67
2020	1,10	0,28	0,49	0,45	0,58	2,89
2021	1,62	0,39	0,68	0,66	0,85	4,19
2022	2,91	0,68	1,18	1,14	1,64	7,56

Emissions PM2,5 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	2,47	0,70	1,16	1,01	1,27	6,60
2019	2,40	0,65	1,15	1,00	1,27	6,47
2020	0,93	0,23	0,41	0,38	0,49	2,44
2021	1,36	0,33	0,57	0,55	0,72	3,54
2022	2,46	0,57	1,00	0,96	1,39	6,38

Emissions par abrasion (tonnes)			
Année	TSP	PM2,5	PM10
2018	43,63	21,76	12,71
2019	41,60	20,74	12,12
2020	15,82	7,89	4,61
2021	22,59	11,26	6,58
2022	37,30	18,60	10,87

Annexe 7 : Tableau des résultats des émissions pour le cycle LTO – Paris-Le Bourget

Emissions CO (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	2,75	29,72	29,49	0,83	12,34	75,13
2019	2,60	28,59	28,32	0,79	11,84	72,15
2020	1,55	16,51	16,29	0,45	7,23	42,04
2021	2,49	26,55	26,70	0,74	11,38	67,86
2022	3,07	33,55	33,76	0,94	14,10	85,42
Emissions COVNM (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	0,21	7,61	7,62	0,06	1,63	17,13
2019	0,19	7,26	7,25	0,05	1,53	16,28
2020	0,12	4,82	4,78	0,03	1,00	10,75
2021	0,19	7,37	7,47	0,05	1,50	16,57
2022	0,21	8,67	8,75	0,06	1,73	19,42
Emissions NOx (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	28,55	2,59	2,56	13,31	9,97	56,98
2019	27,38	2,47	2,44	12,79	9,51	54,59
2020	13,20	1,26	1,24	6,07	4,78	26,55
2021	23,99	2,14	2,15	11,23	8,35	47,85
2022	31,96	2,84	2,86	15,00	11,06	63,73
Emissions SO2 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	1,87	0,71	0,70	0,72	1,32	5,31
2019	1,78	0,67	0,67	0,68	1,25	5,06
2020	0,90	0,36	0,35	0,34	0,65	2,59
2021	1,56	0,59	0,59	0,60	1,09	4,43
2022	2,07	0,77	0,77	0,79	1,43	5,83
Emissions PM10 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	0,46	0,11	0,11	0,19	0,18	1,05
2019	0,44	0,10	0,10	0,19	0,17	1,00
2020	0,19	0,06	0,06	0,08	0,10	0,49
2021	0,34	0,09	0,09	0,14	0,16	0,83
2022	0,48	0,12	0,12	0,20	0,19	1,11
Emissions PM2,5 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2018	0,39	0,09	0,09	0,16	0,16	0,89
2019	0,37	0,09	0,09	0,16	0,15	0,84
2020	0,16	0,05	0,05	0,07	0,08	0,42
2021	0,28	0,08	0,08	0,12	0,13	0,70
2022	0,41	0,10	0,10	0,17	0,16	0,94
Emissions par abrasion (tonnes)						
Année	TSP	PM2,5	PM10			
2018	10,91	3,18	5,44			
2019	10,41	3,03	5,19			
2020	6,46	1,88	3,22			
2021	9,95	4,96	2,90			
2022	12,26	6,12	3,57			

Annexe 8 : Méthodologie de calcul des émissions APU

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions APU																							
Méthodologie de calcul	<p>Méthodologie OACI Calcul d'émissions APU : Approche avancée</p> <p>Pour calculer les émissions sur les trois plateformes, la méthodologie de l'OACI, approche avancée, détaillée dans son document cadre a été utilisée⁵⁵.</p> <p>Les émissions APU sont estimées à partir des facteurs d'émission par catégorie avion et du temps d'utilisation de l'APU, en assignant un facteur d'émission unitaires (EI) pour chaque catégorie avion et par polluant (ou consommation de carburant). Les émissions sont calculées selon trois modes d'utilisation de l'APU tel que suggéré dans la méthodologie de l'OACI :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Start-up - Normal Running - High-Load <p>Pour chaque mode de fonctionnement, les émissions peuvent être calculées selon les formules suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - NO_x : (Taux de NO_x) x (temps de fonctionnement) - COVNM : (taux de COVNM) x (temps de fonctionnement) - CO : (taux de CO) x (temps de fonctionnement) - PM : (taux PM massique) x (temps de fonctionnement) - SO₂ : rapport de mélange de composés soufrés contenu dans le carburant consommé <p>Les temps de fonctionnement dépendent du type avion et du mode d'utilisation de l'APU. Les données d'activité associées sont présentées dans la section suivante.</p>																							
Temps d'utilisation de l'APU au poste sur CDG – ORLY et LBG	<p>Les temps de fonctionnement par mode retenus comme étant les plus représentatifs des conditions d'exploitation des plateformes franciliennes ont été considérés comme ceux de l'étude ACNUSA⁵⁶. Cette étude propose une analyse statistique des procès-verbaux (PV) de renseignements administratifs dressés entre juillet 2014 et fin décembre 2019 lors des contrôles effectués, sur les temps d'utilisation APU, par la gendarmerie des transports aériens (GTA) dans le cadre de l'arrêté du 27 juillet 2012⁵⁷.</p> <p>En l'absence d'informations précises sur la distribution de l'échantillonnage, la distribution des temps par catégories avion est supposée symétrique. Ainsi dans les calculs d'émissions les temps médians présentés dans l'étude ACNUSA sont assimilés à des temps moyen. En complément, les temps dans les modes "Start-up" et "high-Load" proposés par l'OACI ont également été pris en compte. Les temps retenus sont présentés dans le tableau ci-dessous.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Type de mouvement</th> <th style="text-align: center;">Type avion</th> <th style="text-align: center;">Temps médian total (ACNUSA)</th> <th style="text-align: center;">Start-Up</th> <th style="text-align: center;">High-Load</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center;">Arrivée</td> <td style="text-align: center;">Court et moyen courrier</td> <td style="text-align: center;">ORLY = 6 min CDG = 7 min LBG = 22 min</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">N/A</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Long courrier</td> <td style="text-align: center;">ORLY = 18 min CDG = 11 min LBG = N/D</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">N/A</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center;">Départ</td> <td style="text-align: center;">Court et moyen courrier</td> <td style="text-align: center;">ORLY = 16 min CDG = 22 min LBG = 55 min</td> <td style="text-align: center;">3 min</td> <td style="text-align: center;">35 sec (2 moteurs) 140 sec (4 moteurs)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Long courrier</td> <td style="text-align: center;">ORLY = 63 min CDG = 46 min LBG = N/D</td> <td style="text-align: center;">3 min</td> <td style="text-align: center;">35 sec (2 moteurs) 140 sec (4 moteurs)</td> </tr> </tbody> </table> <p>N/A : Non Applicable</p> <p>La répartition du temps de fonctionnement APU entre les différents modes est réalisée à partir des temps ACNUSA, "Start-Up" et "High-Load" – répartition nécessaire pour la prise en compte des facteurs d'émission associé. Ainsi, le mode "Normal Running" selon la formule suivante :</p>	Type de mouvement	Type avion	Temps médian total (ACNUSA)	Start-Up	High-Load	Arrivée	Court et moyen courrier	ORLY = 6 min CDG = 7 min LBG = 22 min	N/A		Long courrier	ORLY = 18 min CDG = 11 min LBG = N/D	N/A		Départ	Court et moyen courrier	ORLY = 16 min CDG = 22 min LBG = 55 min	3 min	35 sec (2 moteurs) 140 sec (4 moteurs)	Long courrier	ORLY = 63 min CDG = 46 min LBG = N/D	3 min	35 sec (2 moteurs) 140 sec (4 moteurs)
Type de mouvement	Type avion	Temps médian total (ACNUSA)	Start-Up	High-Load																				
Arrivée	Court et moyen courrier	ORLY = 6 min CDG = 7 min LBG = 22 min	N/A																					
	Long courrier	ORLY = 18 min CDG = 11 min LBG = N/D	N/A																					
Départ	Court et moyen courrier	ORLY = 16 min CDG = 22 min LBG = 55 min	3 min	35 sec (2 moteurs) 140 sec (4 moteurs)																				
	Long courrier	ORLY = 63 min CDG = 46 min LBG = N/D	3 min	35 sec (2 moteurs) 140 sec (4 moteurs)																				

⁵⁵ ICAO, Doc 9889 – airport Air Quality Manual – Second Edition, 2020. Appendix 1 to Chapter 3. 3-A1-26

⁵⁶ ACNUSA, Les groupes auxiliaires de puissance (APU) : Temps d'utilisation et réglementation – 9 septembre 2020

⁵⁷ Article du 27 juillet 2012 réglementant l'utilisation des moyens permettant aux aéronefs de s'alimenter en énergie et climatisation-chauffage lors de l'escale sur les aérodromes de Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000026257685/>
Inventaire 2022 des émissions atmosphériques - Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly, Paris-Le Bourget

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions APU																																																																																									
	$T_{\text{Normal running}} = T_{\text{ACNUSA}} - (T_{\text{Start-Up}} + T_{\text{High-Load}})$ <p>A noter que l'extinction des APU au droit des postes avion équipés par une alimentation 400Hz et, éventuellement, PCA/ACU n'a pas été considérée dans cet inventaire.</p>																																																																																									
Facteurs d'émission	<p>Les facteurs d'émission utilisés dans le calcul sont issus du document de l'OACI qui renseigne par type d'avion, les quantités de polluants émises par unité de temps. A noter que pour certaines catégories, l'OACI distingue les avions dits anciens des récents. Sans précision dans le document, une hypothèse a été faite pour considérer les facteurs d'émission associés aux avions récents. Le tableau ci-dessous compile les facteurs d'émission retenus en y ajoutant la consommation de carburant – nécessaire au calcul des émissions de SO₂.</p>																																																																																									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type avion</th> <th>Polluants</th> <th>Start-Up (kg/h)</th> <th>Normal-Running (kg/h)</th> <th>High-Load (kg/h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Avions d'affaires / régionaux</td> <td>NOx</td> <td>0.274</td> <td>0.700</td> <td>0.714</td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>3.345</td> <td>0.615</td> <td>0.655</td> </tr> <tr> <td>COVNM</td> <td>1.026</td> <td>0.027</td> <td>0.049</td> </tr> <tr> <td>PM₁₀</td> <td>0.063</td> <td>0.035</td> <td>0.036</td> </tr> <tr> <td>Carburant</td> <td>68</td> <td>101</td> <td>110</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Petits avions (nb de sièges entre 100 et 200)</td> <td>NOx</td> <td>0.384</td> <td>0.702</td> <td>1.128</td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>2.948</td> <td>0.386</td> <td>0.543</td> </tr> <tr> <td>COVNM</td> <td>0.763</td> <td>0.043</td> <td>0.035</td> </tr> <tr> <td>PM₁₀</td> <td>0.057</td> <td>0.022</td> <td>0.021</td> </tr> <tr> <td>Carburant</td> <td>77</td> <td>110</td> <td>130</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Avions moyens (nb de sièges entre 200 et 300)</td> <td>NOx</td> <td>0.876</td> <td>1.556</td> <td>1.889</td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>1.446</td> <td>0.230</td> <td>0.170</td> </tr> <tr> <td>COVNM</td> <td>0.125</td> <td>0.040</td> <td>0.035</td> </tr> <tr> <td>PM₁₀</td> <td>0.031</td> <td>0.038</td> <td>0.041</td> </tr> <tr> <td>Carburant</td> <td>108</td> <td>164</td> <td>191</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Gros Porteurs (nb de sièges >300)</td> <td>NOx</td> <td>1.062</td> <td>2.955</td> <td>3.347</td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>1.349</td> <td>0.152</td> <td>0.173</td> </tr> <tr> <td>COVNM</td> <td>0.093</td> <td>0.031</td> <td>0.030</td> </tr> <tr> <td>PM₁₀</td> <td>0.022</td> <td>0.025</td> <td>0.023</td> </tr> <tr> <td>Carburant</td> <td>146</td> <td>238</td> <td>262</td> </tr> </tbody> </table>	Type avion	Polluants	Start-Up (kg/h)	Normal-Running (kg/h)	High-Load (kg/h)	Avions d'affaires / régionaux	NOx	0.274	0.700	0.714	CO	3.345	0.615	0.655	COVNM	1.026	0.027	0.049	PM ₁₀	0.063	0.035	0.036	Carburant	68	101	110	Petits avions (nb de sièges entre 100 et 200)	NOx	0.384	0.702	1.128	CO	2.948	0.386	0.543	COVNM	0.763	0.043	0.035	PM ₁₀	0.057	0.022	0.021	Carburant	77	110	130	Avions moyens (nb de sièges entre 200 et 300)	NOx	0.876	1.556	1.889	CO	1.446	0.230	0.170	COVNM	0.125	0.040	0.035	PM ₁₀	0.031	0.038	0.041	Carburant	108	164	191	Gros Porteurs (nb de sièges >300)	NOx	1.062	2.955	3.347	CO	1.349	0.152	0.173	COVNM	0.093	0.031	0.030	PM ₁₀	0.022	0.025	0.023	Carburant	146	238	262
	Type avion	Polluants	Start-Up (kg/h)	Normal-Running (kg/h)	High-Load (kg/h)																																																																																					
	Avions d'affaires / régionaux	NOx	0.274	0.700	0.714																																																																																					
		CO	3.345	0.615	0.655																																																																																					
		COVNM	1.026	0.027	0.049																																																																																					
		PM ₁₀	0.063	0.035	0.036																																																																																					
		Carburant	68	101	110																																																																																					
	Petits avions (nb de sièges entre 100 et 200)	NOx	0.384	0.702	1.128																																																																																					
		CO	2.948	0.386	0.543																																																																																					
		COVNM	0.763	0.043	0.035																																																																																					
		PM ₁₀	0.057	0.022	0.021																																																																																					
		Carburant	77	110	130																																																																																					
	Avions moyens (nb de sièges entre 200 et 300)	NOx	0.876	1.556	1.889																																																																																					
		CO	1.446	0.230	0.170																																																																																					
		COVNM	0.125	0.040	0.035																																																																																					
		PM ₁₀	0.031	0.038	0.041																																																																																					
		Carburant	108	164	191																																																																																					
	Gros Porteurs (nb de sièges >300)	NOx	1.062	2.955	3.347																																																																																					
		CO	1.349	0.152	0.173																																																																																					
COVNM		0.093	0.031	0.030																																																																																						
PM ₁₀		0.022	0.025	0.023																																																																																						
Carburant		146	238	262																																																																																						
	<ul style="list-style-type: none"> - Cas particulier PM_{2,5} : La répartition granulométrique des particules issues de l'utilisation des moteurs APU selon le guide OMINEA a été appliquée : PM_{2,5} = 84.4% PM₁₀ - Cas particulier SO₂ : Les émissions de SO₂ sont calculées à partir du carburant consommé dont le flux varie selon le mode de fonctionnement de l'APU et du rapport de mélange des composés soufrés (convertis intégralement en SO₂) contenu dans un kg de carburant. La valeur de 1 g/kg de SO₂ a été retenue et provient du guide technique sur le calcul des émissions dues aux aéronefs, publié par le STAC en 2015⁵⁸. 																																																																																									

⁵⁸ https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/calc_emis_aero.pdf Page 21

Annexe 9 : Tableau des résultats des émissions APU – Paris-Charles de Gaulle

Emissions CO (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2018	0,19	53,12	1,24	11,35	1,07	66,98
2019	0,24	55,70	1,02	11,55	1,17	69,69
2020	0,22	22,42	0,44	5,88	0,23	29,20
2021	0,06	26,35	0,45	7,44	0,13	34,42
2022	0,00	44,76	0,59	10,64	0,25	56,24
Emissions COVNM (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2018	0,04	9,60	0,10	1,81	0,17	11,71
2019	0,04	10,07	0,08	1,84	0,19	12,21
2020	0,04	4,05	0,03	0,94	0,04	5,10
2021	0,01	4,76	0,03	1,18	0,02	6,01
2022	0,00	8,09	0,05	1,69	0,04	9,87
Emissions NOx (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2018	0,20	54,18	5,23	150,75	14,26	224,61
2019	0,25	56,81	4,26	153,52	15,62	230,46
2020	0,23	22,89	1,82	78,30	3,02	106,26
2021	0,06	26,88	1,86	98,85	1,68	129,33
2022	0,00	45,64	2,45	141,44	3,36	192,89
Emissions SO2 (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2018	0,03	8,56	0,56	12,30	1,16	22,61
2019	0,04	8,97	0,45	12,53	1,27	23,27
2020	0,04	3,61	0,19	6,39	0,25	10,48
2021	0,01	4,24	0,20	8,07	0,14	12,66
2022	0,00	7,21	0,26	11,55	0,27	19,29
Emissions PM10 (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2018	0,008	2,252	0,098	1,424	0,134	3,916
2019	0,010	2,361	0,080	1,450	0,147	4,048
2020	0,009	0,951	0,034	0,739	0,028	1,763
2021	0,002	1,117	0,035	0,934	0,016	2,104
2022	0,000	1,897	0,046	1,336	0,032	3,311
Emissions PM2,5 (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2018	0,006	1,738	0,110	1,104	0,104	3,062
2019	0,008	1,822	0,090	1,124	0,114	3,158
2020	0,007	0,734	0,039	0,573	0,022	1,375
2021	0,002	0,862	0,039	0,724	0,012	1,640
2022	0,000	1,464	0,052	1,036	0,024	2,576

Annexe 10 : Tableau des résultats des émissions APU – Paris-Orly

Emissions CO (tonnes)					
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	Total (APU)
2018	2,39	0,41	28,64	0,15	31,59
2019	2,52	0,88	26,68	0,07	30,16
2020	1,17	0,45	9,84	0,00	11,46
2021	1,54	0,67	14,16	0,00	16,37
2022	2,30	0,53	24,25	0,00	27,08

Emissions COVNM (tonnes)					
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	Total (APU)
2018	0,08	5,41	0,01	0,41	5,90
2019	0,17	5,04	0,01	0,43	5,64
2020	0,08	1,86	0,00	0,20	2,14
2021	0,13	2,67	0,00	0,26	3,06
2022	0,10	4,58	0,00	0,39	5,07

Emissions NOx (tonnes)					
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	Total (APU)
2018	0,38	26,53	0,56	35,14	62,62
2019	0,82	24,72	0,28	37,04	62,86
2020	0,41	9,13	0,00	17,23	26,77
2021	0,62	13,13	0,00	22,66	36,42
2022	0,49	22,47	0,00	33,80	56,77

Emissions SO2 (tonnes)					
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	Total (APU)
2018	0,06	4,20	0,06	2,86	7,18
2019	0,13	3,91	0,03	3,01	7,08
2020	0,07	1,44	0,00	1,40	2,91
2021	0,10	2,08	0,00	1,84	4,02
2022	0,08	3,56		2,75	6,38

Emissions PM10 (tonnes)					
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	Total (APU)
2018	0,016	1,112	0,011	0,329	1,467
2019	0,034	1,036	0,005	0,346	1,422
2020	0,017	0,382	0,000	0,161	0,561
2021	0,026	0,550	0,000	0,212	0,788
2022	0,021	0,942	0,000	0,316	1,279

Emissions PM2.5 (tonnes)					
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	Total (APU)
2018	0,013	0,885	0,012	0,255	1,165
2019	0,027	0,825	0,006	0,269	1,127
2020	0,014	0,304	0,000	0,125	0,444
2021	0,021	0,438	0,000	0,165	0,624
2022	0,017	0,750	0,000	0,246	1,012

Annexe 11 : Tableau des résultats des émissions APU – Paris-Le Bourget

Emissions CO (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2018	10,445	10,339	0,024	0,019		20,828
2019	10,138	9,632	0,016	0,015	0,001	19,802
2020	7,512	5,373	0,010	0,003		12,898
2021	11,252	8,605	0,013	0,007		19,878
2022	13,335	10,911	0,016	0,006		24,268
Emissions COVNM (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2018	0,957	1,506	0,002	0,003		2,468
2019	0,928	1,403	0,001	0,003	0,000	2,335
2020	0,690	0,784	0,001	0,001		1,475
2021	1,032	1,255	0,001	0,001		2,289
2022	1,223	1,591	0,001	0,001		2,816
Emissions NOx (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2018	9,891	14,718	0,137	0,280		25,027
2019	9,603	13,713	0,091	0,224	0,007	23,638
2020	7,107	7,637	0,055	0,044		14,843
2021	10,651	12,236	0,074	0,108		23,068
2022	12,625	15,517	0,087	0,086		28,315
Emissions SO2 (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2018	1,444	2,313	0,014	0,023		3,794
2019	1,402	2,155	0,010	0,018	0,001	3,585
2020	1,038	1,200	0,006	0,004		2,247
2021	1,555	1,923	0,008	0,009		3,494
2022	1,843	2,438	0,009	0,007		4,297
Emissions PM10 (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2018	0,522	0,496	0,003	0,002		1,024
2019	0,507	0,462	0,002	0,002	0,000	0,973
2020	0,375	0,257	0,001	0,000		0,635
2021	0,563	0,412	0,002	0,001		0,978
2022	0,667	0,523	0,002	0,001		1,193
Emissions PM2.5 (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2018	0,441	0,419	0,003	0,002		0,864
2019	0,428	0,390	0,002	0,002	0,000	0,822
2020	0,317	0,217	0,001	0,000		0,536
2021	0,475	0,348	0,002	0,001		0,825
2022	0,563	0,441	0,002	0,001		1,007

Annexe 12 : Méthodologie de calcul des émissions GSE dont GPU

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions GSE dont GPU
Méthodologie de calcul	<p><u>Méthodologie OACI : Calcul d'émissions GSE dont GPU : Approche avancée</u>⁵⁹</p> <p><i>Méthodologie appliquée sur Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly</i></p> <p>Les émissions des GSE dont GPU sont calculées pour l'inventaire 2022 selon l'équation suivante :</p> $\text{Emission}_{\text{polluant}} [\text{g/GSE}] = \text{Puissance moteur} \times \text{facteur de charge} \times \text{facteur d'émission} \times \text{Temps d'utilisation} \times \text{DF}$ <p style="margin-left: 40px;">Puissance moteur [kW]</p> <p style="margin-left: 40px;">Facteur de charge [%] = Pourcentage d'utilisation du moteur en activité au poste</p> <p style="margin-left: 40px;">Facteur d'émission [g/kWh] = issu des normes Européennes (directive EC initial 97/68/EG et ses amendements)</p> <p style="margin-left: 40px;">DF (Facteur de détérioration) = $1 + A \times \left(\frac{\text{Age GSE}}{\text{Espérance de vie GSE}} \right)^B$. Facteur considéré comme égal à 1 quel que soit l'engin.</p> <p>Cette approche est assez semblable au calcul d'émissions appliqué dans l'étude de l'aéroport de Zurich. Néanmoins, l'approche avancée de l'OACI prend en compte le facteur de détérioration (DF), qui va majorer les émissions selon l'âge du GSE et son espérance de vie.</p> <p>A noter que la part de véhicules électrique dans le parc GSE n'a pas été pris en compte (100% du parc est considéré comme thermique). Par ailleurs, les émissions de particules par abrasion n'ont pas été considérées dans ce calcul.</p> <p>Les facteurs d'émission utilisés pour calculer les émissions des GSE proviennent des réglementations en vigueur lors de l'année de mise sur le marché de l'engin. Les GSE sont dans l'ensemble des engins spéciaux qui ne sont pas immatriculés et qui ne roulent qu'en zone réservée. Mais certains de ces véhicules peuvent être amenés à rouler en zone publique et sont donc pourvu d'immatriculation.</p> <p>Ainsi en fonction de chaque famille de GSE considérées, deux types de normes peuvent être utilisées pour déterminer le facteur nécessaire pour le calcul des émissions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La norme EMNR⁶⁰ pour les engins mobiles non routier (dépourvu d'immatriculation) - La norme EURO⁶¹ pour les véhicules pourvus d'une immatriculation <p><u>Méthodologie OACI : Calcul d'émissions GSE dont GPU : Approche simplifiée</u></p> <p><i>Méthodologie appliquée sur Paris-Le Bourget</i></p> <p>Au niveau de la plateforme de Paris-Le Bourget, le niveau de détail reste moins fin que celui disponible sur les deux autres plateformes. Pour pallier cela, l'approche simplifiée ("secondary simple approach") a été utilisée pour le calcul des émissions GSE. Elle consiste à relier les consommations de carburant annuelles des assistants en escale, à des facteurs d'émission (moyens) tout en s'affranchissant du type d'équipement, des durées de fonctionnement et de la technologie employée des appareils utilisés.</p> $E_{pol} = \sum_i C_i \times FE_{pol,i}$ <p>Avec :</p> <p>E_{pol} : Emissions en g de polluant (pol)</p>

⁵⁹ ICAO, Doc 9889 – airport Air Quality Manual – Second Edition, 2020. 3-A2-8

⁶⁰ Règlement (UE) 2016/1628 du Parlement européen et du Conseil du 14 septembre 2016 relatif aux exigences concernant les limites d'émissions pour les gaz polluants et les particules polluantes et la réception par type pour les moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers, modifiant les règlements (UE) n° 1024/2012 et (UE) n° 167/2013 et modifiant et abrogeant la directive 97/68/CE (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE)

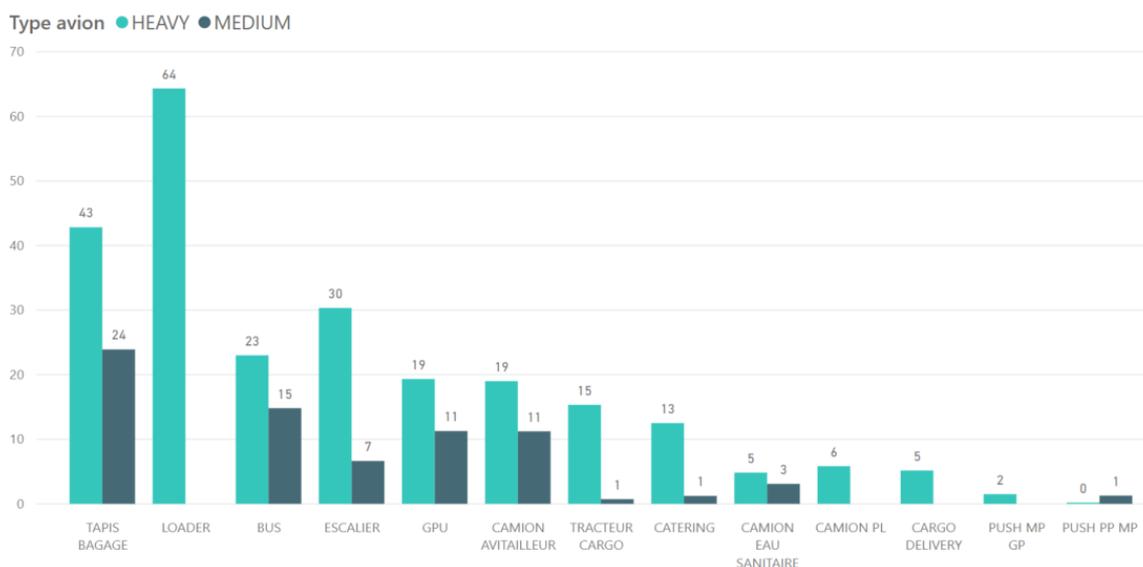
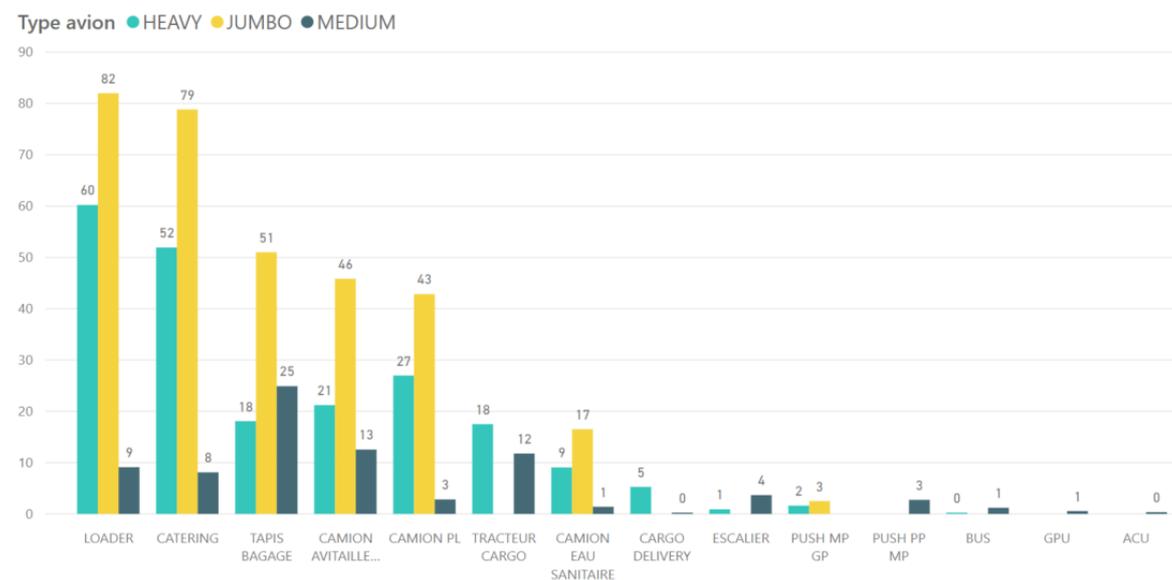
⁶¹ Règlement n° 595/2009 du Parlement européen et du Conseil du 18 juin 2009, Règlement n°2016/1718 de la Commission européenne du 20 septembre 2016 et Arrêté du 21 juin 2016 établissant la nomenclature des véhicules classés en fonction de leur niveau d'émission de polluants atmosphériques en application de l'article R. 318-2 du code de la route

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions GSE dont GPU																																																																																																																								
	<p>C_i : Quantité de carburant (i) consommé, en kg</p> <p>$FE_{pol,i}$: Facteur d'émission pour le polluant (pol) associé au carburant i, en g/kg</p> <p>A noter que les émissions de particules sont exprimées en PM totaux. Selon une approche majorante, il a été considéré que les PM totaux sont assimilés aux PM10. Une conversion depuis les PM10 en PM2,5 a été appliquée selon le guide OMINEA (dernière publication en date de rédaction de ce document).</p>																																																																																																																								
<p>Données d'activité :</p> <p>parc GSE</p>	<p><i>Données d'activité applicables sur Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly</i></p> <p>Une campagne de recensement du parc et des durées d'utilisation au poste avion des GSE a été menée par les équipes du Laboratoire du Groupe ADP en 2018 à Paris-Charles de Gaulle.</p> <p>Afin de trouver un compromis entre la fiabilité des résultats et la charge de travail nécessaire pour réaliser la campagne d'observations, une étude statistique a été menée, basée sur le nombre de mouvements avion annuels en 2017 sur l'aéroport de Paris-Charles de Gaulle. Les observations ont été réparties selon, les types avions (HEAVY, JUMBO, MEDIUM) et selon les types de postes (au large et au contact), pour différentes marges d'erreur, proportionnellement au trafic observé sur la plateforme de Paris-Charles de Gaulle.</p> <p>A l'issue de cette étude, les équipes du Laboratoire du groupe ADP ont choisi de réaliser 100 observations de rotations (vol Arrivée et Départ), ce qui permet d'atteindre 10% de marge d'erreur pour 95% de taux de confiance. Les rotations à observer ont ensuite été réparties de façon à être représentatives du trafic avion sur les différents terminaux de l'aéroport Paris-Charles de Gaulle.</p> <p>Les mesures ont été réalisées sur une période de 10 mois (de janvier à novembre 2018), ce qui a permis d'obtenir une bonne représentativité de la variabilité saisonnière de l'utilisation des GSE.</p> <p>Certaines rotations sont plus représentatives du trafic sur Paris-Charles-de-Gaulle, notamment les rotations d'avion médium au contact au terminal 2F, qui représentent près de 24 % du trafic.</p> <p>Sur les 100 rotations de la campagne, 86 ont été observées au contact et 14 au large.</p> <p>En complément, Une campagne de recensement du parc a été menée en 2018 à Paris-Charles de Gaulle. Les données moyenne par famille d'engins, correspondant à l'analyse d'un parc de plus de 3500 matériels répertoriés, sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.</p> <table border="1" data-bbox="373 1377 1358 1865"> <thead> <tr> <th>FAMILLES GSE</th> <th>AGE MOYEN</th> <th>FACTEURS DE CHARGE OACI</th> <th>TYPE DE NORME</th> <th>PUISSANCE MOYENNE EN KW</th> <th>PUISSANCE OACI KW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>ACU</td><td>19</td><td>0,50</td><td>NRMM</td><td>108,53</td><td>150,00</td></tr> <tr><td>ASU</td><td>18</td><td>0,90</td><td>NRMM</td><td>388,00</td><td>150,00</td></tr> <tr><td>BUS</td><td>13</td><td>0,30</td><td>EURO</td><td></td><td>100,00</td></tr> <tr><td>CAMION AVITAILLEUR</td><td>11</td><td>0,30</td><td>EURO</td><td></td><td>90,00</td></tr> <tr><td>CAMION EAU SANITAIRE</td><td>9</td><td>0,25</td><td>EURO</td><td>117,24</td><td>120,00</td></tr> <tr><td>CAMION PL</td><td>11</td><td>0,25</td><td>EURO</td><td>88,50</td><td>90,00</td></tr> <tr><td>CARGO DELIVERY</td><td>11</td><td>0,25</td><td>NRMM</td><td>56,76</td><td>30,00</td></tr> <tr><td>CATERING</td><td>14</td><td>0,18</td><td>EURO</td><td></td><td>107,50</td></tr> <tr><td>CHARIOT ELEVATEUR</td><td>10</td><td>0,25</td><td>NRMM</td><td>41,00</td><td>65,00</td></tr> <tr><td>DEGIVREUSE</td><td>15</td><td>0,35</td><td>NRMM</td><td>185,00</td><td>180,00</td></tr> <tr><td>ESCALIER</td><td>15</td><td>0,25</td><td>NRMM</td><td>38,75</td><td>47,50</td></tr> <tr><td>GPU</td><td>13</td><td>0,33</td><td>NRMM</td><td>94,34</td><td>125,00</td></tr> <tr><td>LOADER</td><td>13</td><td>0,25</td><td>NRMM</td><td>59,42</td><td>60,00</td></tr> <tr><td>PHMR</td><td>7</td><td>0,18</td><td>EURO</td><td></td><td>107,00</td></tr> <tr><td>PUSH MP GP</td><td>13</td><td>0,25</td><td>NRMM</td><td>276,15</td><td>400,00</td></tr> <tr><td>PUSH PP MP</td><td>12</td><td>0,25</td><td>NRMM</td><td>55,00</td><td>95,00</td></tr> <tr><td>TAPIS BAGAGE</td><td>12</td><td>0,25</td><td>NRMM</td><td>49,00</td><td>33,00</td></tr> <tr><td>TRACTEUR CARGO</td><td>11</td><td>0,50</td><td>NRMM</td><td>44,80</td><td>45,00</td></tr> <tr><td>TRACTEUR CHARLATTE</td><td>8</td><td>0,50</td><td>NRMM</td><td></td><td>30,00</td></tr> </tbody> </table>	FAMILLES GSE	AGE MOYEN	FACTEURS DE CHARGE OACI	TYPE DE NORME	PUISSANCE MOYENNE EN KW	PUISSANCE OACI KW	ACU	19	0,50	NRMM	108,53	150,00	ASU	18	0,90	NRMM	388,00	150,00	BUS	13	0,30	EURO		100,00	CAMION AVITAILLEUR	11	0,30	EURO		90,00	CAMION EAU SANITAIRE	9	0,25	EURO	117,24	120,00	CAMION PL	11	0,25	EURO	88,50	90,00	CARGO DELIVERY	11	0,25	NRMM	56,76	30,00	CATERING	14	0,18	EURO		107,50	CHARIOT ELEVATEUR	10	0,25	NRMM	41,00	65,00	DEGIVREUSE	15	0,35	NRMM	185,00	180,00	ESCALIER	15	0,25	NRMM	38,75	47,50	GPU	13	0,33	NRMM	94,34	125,00	LOADER	13	0,25	NRMM	59,42	60,00	PHMR	7	0,18	EURO		107,00	PUSH MP GP	13	0,25	NRMM	276,15	400,00	PUSH PP MP	12	0,25	NRMM	55,00	95,00	TAPIS BAGAGE	12	0,25	NRMM	49,00	33,00	TRACTEUR CARGO	11	0,50	NRMM	44,80	45,00	TRACTEUR CHARLATTE	8	0,50	NRMM		30,00
FAMILLES GSE	AGE MOYEN	FACTEURS DE CHARGE OACI	TYPE DE NORME	PUISSANCE MOYENNE EN KW	PUISSANCE OACI KW																																																																																																																				
ACU	19	0,50	NRMM	108,53	150,00																																																																																																																				
ASU	18	0,90	NRMM	388,00	150,00																																																																																																																				
BUS	13	0,30	EURO		100,00																																																																																																																				
CAMION AVITAILLEUR	11	0,30	EURO		90,00																																																																																																																				
CAMION EAU SANITAIRE	9	0,25	EURO	117,24	120,00																																																																																																																				
CAMION PL	11	0,25	EURO	88,50	90,00																																																																																																																				
CARGO DELIVERY	11	0,25	NRMM	56,76	30,00																																																																																																																				
CATERING	14	0,18	EURO		107,50																																																																																																																				
CHARIOT ELEVATEUR	10	0,25	NRMM	41,00	65,00																																																																																																																				
DEGIVREUSE	15	0,35	NRMM	185,00	180,00																																																																																																																				
ESCALIER	15	0,25	NRMM	38,75	47,50																																																																																																																				
GPU	13	0,33	NRMM	94,34	125,00																																																																																																																				
LOADER	13	0,25	NRMM	59,42	60,00																																																																																																																				
PHMR	7	0,18	EURO		107,00																																																																																																																				
PUSH MP GP	13	0,25	NRMM	276,15	400,00																																																																																																																				
PUSH PP MP	12	0,25	NRMM	55,00	95,00																																																																																																																				
TAPIS BAGAGE	12	0,25	NRMM	49,00	33,00																																																																																																																				
TRACTEUR CARGO	11	0,50	NRMM	44,80	45,00																																																																																																																				
TRACTEUR CHARLATTE	8	0,50	NRMM		30,00																																																																																																																				
<p>Données d'activité :</p>	<p><i>Données d'activité applicables sur Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly</i></p>																																																																																																																								

Temps d'utilisation des GSE

Les temps d'utilisation des GSE au poste à Paris-Charles de Gaulle par rotation ont été mesurés durant la campagne d'observations 2018. Les temps moyens par type avion et type de poste ont ensuite été calculés pour différentes familles de GSE et sont présentés sur les figures suivantes.

A noter que les émissions en lien avec les activités sur piste des engins et les opérations de viabilité hivernale ne sont donc pas incluses dans l'inventaire 2022. Bien que la campagne ait eu lieu sur plusieurs mois, il n'y a pas eu d'observations durant des épisodes de gel, ce qui explique l'absence de mesure sur les GSE liés à la viabilité hivernale : dégivrage, déneigeuse etc.



Les résultats des temps moyens mesurés permettent de mettre en évidence une hétérogénéité des durées d'utilisation des GSE pour un même type avion et pour un même type de poste. Ces variations s'expliquent par les différentes fonctions et la diversité des opérations sur piste associées à chaque famille de GSE. En effet certaines familles de GSE, comme les Cargo Loader qui ont pour rôle de charger les cargaisons et les conteneurs dans la soute de l'avion, interviennent durant la quasi-totalité d'une rotation, tandis que les GSE de type Push-back, qui aident l'avion à sortir du parking en le repoussant et en le remorquant sur les pistes, interviennent seulement pendant quelques minutes à l'arrivée et au départ de l'avion.

La variabilité des temps d'utilisation est fortement corrélée au type avion. Pour un même type de poste et pour une même famille de GSE, globalement les temps d'utilisation augmentent proportionnellement à la taille de l'avion. En effet, en fonction du type avion, la durée des opérations au sol durant une rotation peut fortement varier, en lien avec le nombre de passagers, le volume de la soute, le type de vol (long/moyen/court courrier), la quantité de fret.

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions GSE dont GPU										
	<p>Enfin, ces résultats permettent de mettre en évidence une variabilité d'utilisation des GSE en fonction du type de poste. En effet, certaines familles de GSE, comme les bus passagers, les Ground Power Unit (GPU) ou les escaliers passagers sont très utilisées sur des postes au large contrairement aux postes au contact qui disposent généralement sur l'aéroport de Paris-Charles-de-Gaulle, de passerelles et d'une alimentation en électricité fournie par le terminal (400hz). Tous ces équipements au contact permettent d'expliquer l'absence d'utilisation de certains GSE.</p>										
<p>Données d'activité : Consommation de carburant</p>	<p><i>Données d'activité applicables sur Paris-Le Bourget</i></p> <p>Les données de consommation sont consolidées par l'aéroport du Bourget qui met à disposition ses consommations, listées dans le tableau ci-dessous. Il a été considéré que les GSE ne fonctionnaient qu'avec du Gazole Non Routier (GNR).</p> <table border="1" data-bbox="304 506 1501 618"> <thead> <tr> <th data-bbox="304 506 624 555">Année</th> <th data-bbox="624 506 852 555">2019</th> <th data-bbox="852 506 1062 555">2020</th> <th data-bbox="1062 506 1291 555">2021</th> <th data-bbox="1291 506 1501 555">2022</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="304 555 624 618">Consommation de GNR (l)</td> <td data-bbox="624 555 852 618">43 309</td> <td data-bbox="852 555 1062 618">31 773</td> <td data-bbox="1062 555 1291 618">48 067</td> <td data-bbox="1291 555 1501 618">51 280</td> </tr> </tbody> </table>	Année	2019	2020	2021	2022	Consommation de GNR (l)	43 309	31 773	48 067	51 280
Année	2019	2020	2021	2022							
Consommation de GNR (l)	43 309	31 773	48 067	51 280							

Facteurs d'émission applicables sur Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly

Les résultats de temps observés lors de la campagne 2018, ont permis de calculer des facteurs d'émission des polluants NOx, CO, COVNM et PM lors des activités au poste, en fonction du type avion (JUMBO, HEAVY, MEDIUM) et du type de poste (Large et Contact).

Les émissions ont été calculées en associant les temps de fonctionnement moyen des GSE mesurés durant la campagne, à des facteurs d'émission préalablement fixés en fonction de différents paramètres propres à chaque famille de GSE (puissance moteurs, âge moyen du parc, types de carburants...).

Les résultats des calculs d'émissions sont donc directement proportionnels au temps d'utilisation.

La synthèse des calculs issus de la méthodologie précédemment présentée, de l'étude du parc GSE et temps observé lors de la campagne de 2018 amène à définir les facteurs d'émission agrégés par type de porteur et par plateforme (l'écart entre les plateformes résultant de la répartition entre les postes au contact et au large).

Paris-Charles de Gaulle	NOx (g/vol)	COVNM (g/vol)	CO (g/vol)	PM (g/vol)
2018				
HEAVY	225,20	49,02	245,65	18,77
JUMBO	303,52	64,83	305,11	20,39
LIGHT	175,00	14,40	75,56	9,50
MEDIUM	82,10	18,32	94,88	7,85
MEDIUM_HEAVY	83,79	18,29	94,71	7,47
2019				
HEAVY	223,87	48,80	246,19	19,07
JUMBO	303,40	64,93	308,16	20,95
LIGHT	166,55	14,04	63,95	9,50
MEDIUM	82,32	18,37	96,01	8,05
MEDIUM_HEAVY	84,25	18,33	95,80	7,60
2020				
HEAVY	232,04	50,78	261,68	20,96
JUMBO	303,63	65,10	311,71	21,53
LIGHT	168,75	14,14	66,96	9,50
MEDIUM	82,16	18,42	97,18	8,34
MEDIUM_HEAVY	87,40	18,31	96,58	7,07
2021				
HEAVY	230,82	50,58	262,41	21,28
JUMBO	303,78	65,25	315,15	22,11
LIGHT	166,60	14,05	64,01	9,50
MEDIUM	82,18	18,47	98,33	8,59
MEDIUM_HEAVY	87,50	18,36	97,68	7,25
2022				
HEAVY	225,35	49,41	256,93	20,96
JUMBO	304,14	65,44	318,90	22,69
LIGHT	177,50	14,50	79,00	9,50
MEDIUM	82,28	18,51	99,43	8,80
MEDIUM_HEAVY	87,61	18,40	98,77	7,43

Facteurs
d'émission
agrégés par
type de
porteur et
type de
contact

Paris-Orly	NOx (g/vol)	COVNM (g/vol)	CO (g/vol)	PM (g/vol)
2018				
HEAVY	230,14	50,17	253,30	19,57
LIGHT	169,94	14,18	68,60	9,50
MEDIUM	81,91	18,33	94,90	7,90
MEDIUM_HEAVY	84,54	18,27	94,64	7,30
2019				
HEAVY	228,67	49,91	253,70	19,86
LIGHT	170,10	14,19	68,82	9,50
MEDIUM	81,88	18,38	96,06	8,15
MEDIUM_HEAVY	85,32	18,30	95,69	7,35
2020				
HEAVY	223,59	48,81	248,32	19,53
LIGHT	170,28	14,20	69,07	9,50
MEDIUM	81,93	18,42	97,19	8,39
MEDIUM_HEAVY	86,07	18,34	96,73	7,39
2021				
HEAVY	222,66	48,68	249,41	19,87
LIGHT	172,15	14,28	71,64	9,50
MEDIUM	82,12	18,47	98,33	8,60
MEDIUM_HEAVY	87,83	18,35	97,64	7,17
2022				
HEAVY	221,82	48,57	250,63	20,22
LIGHT	170,81	14,22	69,80	9,50
MEDIUM	81,95	18,52	99,52	8,89

Ces facteurs d'émission sont ensuite croisés avec les données trafic de Paris-Charles de Gaulle et de Paris-Orly et permettent d'estimer l'impact des GSE au poste, sur les émissions globales de chacune de ces plateformes.

Facteurs d'émission applicables sur Paris-Le Bourget

Les facteurs d'émission retenus sont issus du guide méthodologique de l'OACI publié en 2020 dont un exemple est indiqué dans la Table 3-A2-5. Cette dernière compile les facteurs issus du guide EMEP/EEA dans le chapitre spécifique aux engins non-routiers (construction, agriculture, industrie). Les facteurs d'émission retenus sont listés dans le tableau suivant. Bien que les données de carburant ne concernent que le Gazole Non Routier (GNR), l'utilisation

Facteurs d'émission

Polluant	Facteur d'émission moyen (g/kg) – carburant : diesel
NOx	32,629
COVNM	3,377
CO	10,774
PM ₁₀	2,104
PM _{2.5}	2,104

Annexe 13 : Tableau des résultats des émissions GSE – Paris-Charles de Gaulle

Emissions CO (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (GSE)
2018	32,57	1,41	31,83	3,19	68,99
2019	34,56	1,17	32,65	3,53	71,90
2020	14,13	0,51	17,39	0,69	32,71
2021	16,76	0,52	21,99	0,39	39,65
2022	28,76	0,69	31,11	0,79	61,35
Emissions COVNM (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (GSE)
2018	6,29	0,27	5,44	0,68	12,68
2019	6,61	0,22	5,52	0,74	13,09
2020	2,68	0,10	2,95	0,14	5,87
2021	3,15	0,10	3,68	0,08	7,01
2022	5,35	0,13	5,15	0,16	10,79
Emissions NOx (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (GSE)
2018	28,18	1,25	25,00	3,17	57,60
2019	29,63	1,03	25,31	3,48	59,44
2020	11,94	0,46	13,47	0,67	26,55
2021	14,00	0,47	16,79	0,37	31,64
2022	23,80	0,61	23,47	0,75	48,63
Emissions PM10 (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (GSE)
2018	2,70	0,11	2,08	0,21	5,10
2019	2,90	0,09	2,16	0,24	5,39
2020	1,21	0,04	1,22	0,05	2,51
2021	1,46	0,04	1,55	0,03	3,08
2022	2,54	0,05	2,18	0,06	4,84
Emissions PM2,5 (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (GSE)
2018	2,28	0,09	1,76	0,18	4,31
2019	2,45	0,08	1,82	0,20	4,55
2020	1,02	0,03	1,03	0,04	2,12
2021	1,23	0,03	1,31	0,02	2,60
2022	2,15	0,04	1,84	0,05	4,08

Annexe 14 : Tableau des résultats des émissions GSE – Paris-Orly

Emissions CO (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	LIGHT	Total (GSE)
2018	19,559	0,188	4,560	0,203	24,509
2019	18,445	0,095	4,819	0,436	23,794
2020	6,897	0,001	2,193	0,222	9,313
2021	10,040	0,000	2,893	0,348	13,280
2022	17,375	0,000	4,350	0,268	21,993
Emissions COVNM (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	LIGHT	Total (GSE)
2018	3,777	0,036	0,903	0,042	4,758
2019	3,529	0,018	0,948	0,090	4,585
2020	1,307	0,000	0,431	0,046	1,784
2021	1,886	0,000	0,565	0,069	2,520
2022	3,234	0,000	0,843	0,055	4,132
Emissions NOx (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	LIGHT	Total (GSE)
2018	16,881	0,168	4,143	0,503	21,694
2019	15,723	0,085	4,343	1,077	21,228
2020	5,814	0,001	1,975	0,548	8,337
2021	8,385	0,000	2,583	0,835	11,803
2022	14,308	0,000	3,850	0,656	18,815
Emissions PM10 (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	LIGHT	Total (GSE)
2018	1,6276	0,0145	0,3522	0,0281	2,0224
2019	1,5659	0,0073	0,3772	0,0602	2,0106
2020	0,5954	0,0001	0,1725	0,0306	0,7985
2021	0,8777	0,0000	0,2305	0,0461	1,1543
2022	1,5530	0,0000	0,3510	0,0365	1,9405
Emissions PM2,5 (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	LIGHT	Total (GSE)
2018	1,3737	0,0122	0,2973	0,0237	1,7069
2019	1,3216	0,0061	0,3184	0,0508	1,6969
2020	0,5025	0,0001	0,1456	0,0258	0,6739
2021	0,7408	0,0000	0,1945	0,0389	0,9742
2022	1,3107	0,0000	0,2963	0,0308	1,6378

Annexe 15 : Tableau des résultats des émissions GSE – Paris-Le Bourget

Emissions CO (tonnes)	
Année	Total (GSE)
2019	0,4141
2020	0,2841
2021	0,4298
2022	0,4586

Emissions COVNM (tonnes)	
Année	Total (GSE)
2019	0,1298
2020	0,0891
2021	0,1347
2022	0,1437

Emissions NOx (tonnes)	
Année	Total (GSE)
2019	1,2542
2020	0,8605
2021	1,3018
2022	1,3888

Emissions PM10 (tonnes)	
Année	Total (GSE)
2019	0,0809
2020	0,0555
2021	0,0839
2022	0,0896

Emissions PM2,5 (tonnes)	
Année	Total (GSE)
2019	0,0683
2020	0,0468
2021	0,0708
2022	0,0756

Annexe 16 : Méthodologie de calcul des émissions de COVNM lors de l'avitaillement des avions

Paramètres

Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions de COVNM lors de l'avitaillement des avions

Méthodologie de calcul OACI (2020)

L'avitaillement des avions au sol se déroule généralement selon deux processus :

- Le raccordement d'un tuyau étanche entre un oléoduc sous-terrain et le réservoir de l'avion moyennant un appareil permettant le raccordement ;



David Monniaux/CC BY-SA 2.0

- Le raccordement direct entre un camion-citerne contenant un volume de carburant donné et le réservoir de l'avion.



Infographie avitaillement TotalEnergies

Lors de ce processus, des vapeurs gazeuses contenant principalement des COVNM sont émises, par refoulement, au niveau du réservoir de l'avion en cours de remplissage⁶². A noter que des vapeurs sont également émises lors du remplissage du camion-citerne en carburant et au niveau des zones de stockage sur la plateforme aéroportuaire lorsqu'elle est équipée. Ces deux postes émetteurs ne font pas l'objet d'un calcul, à ce jour. Les données d'entrée nécessaires sont en cours de consolidation.

Les données d'entrée ou opérationnelles pour l'estimation des émissions de COVNM lors du processus d'avitaillement en carburant sont les suivantes :

- Q_c : La quantité de carburant par type (kérozène, Av-Gas) délivrée pour l'ensemble des avions sur une année en tenant compte du processus de livraison : oléoduc ($Q_{c,oléoduc}$) et camion-citerne ($Q_{c,camion-citerne}$) – exprimée en kg de carburant livré ;
- EI_c : Un facteur d'émission moyen exprimé en g de COVNM par kg de carburant (selon le type de carburant). Le tableau suivant présente les facteurs d'émission retenus.

Type de carburant	Unité	Valeur
Kérozène	g de COVNM par kg de carburant	0,01
Av-Gas	g de COVNM par kg de carburant	1,27

L'équation permettant de calculer les émissions de COVNM par évaporation E_{COVNM} est la suivante :

$$E_{COVNM} = \sum_c (Q_{c,oléoduc} + 2 \times Q_{c,camion-citerne}) \times EI_c$$

⁶² Les pertes au niveau des connecteur sont considérées comme négligeables

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions de COVNM lors de l'avitaillement des avions									
	La conversion volume / masse est issue du guide de CITEPA ⁶³ : <ul style="list-style-type: none"> - 1 m³ de kérozène = 0,80 t - 1 m³ d'Av-Gas = 0,755 t 									
Données d'activité : Carburant consommé	Les données d'entrée correspondent aux quantités de carburant délivrées sur chaque plateforme pour l'année 2022. Elles ne concernent uniquement les quantités de kérozène (en prenant l'hypothèse que les quantités d'Av-Gas sont négligeables). <table border="1" data-bbox="616 376 1224 604"> <thead> <tr> <th>Plateforme</th> <th>Kérozène délivré (m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Paris-Charles de Gaulle</td> <td>4 453 211</td> </tr> <tr> <td>Paris-Orly</td> <td>1 092 177</td> </tr> <tr> <td>Paris-Le Bourget</td> <td>86 126</td> </tr> </tbody> </table>		Plateforme	Kérozène délivré (m ³)	Paris-Charles de Gaulle	4 453 211	Paris-Orly	1 092 177	Paris-Le Bourget	86 126
Plateforme	Kérozène délivré (m ³)									
Paris-Charles de Gaulle	4 453 211									
Paris-Orly	1 092 177									
Paris-Le Bourget	86 126									

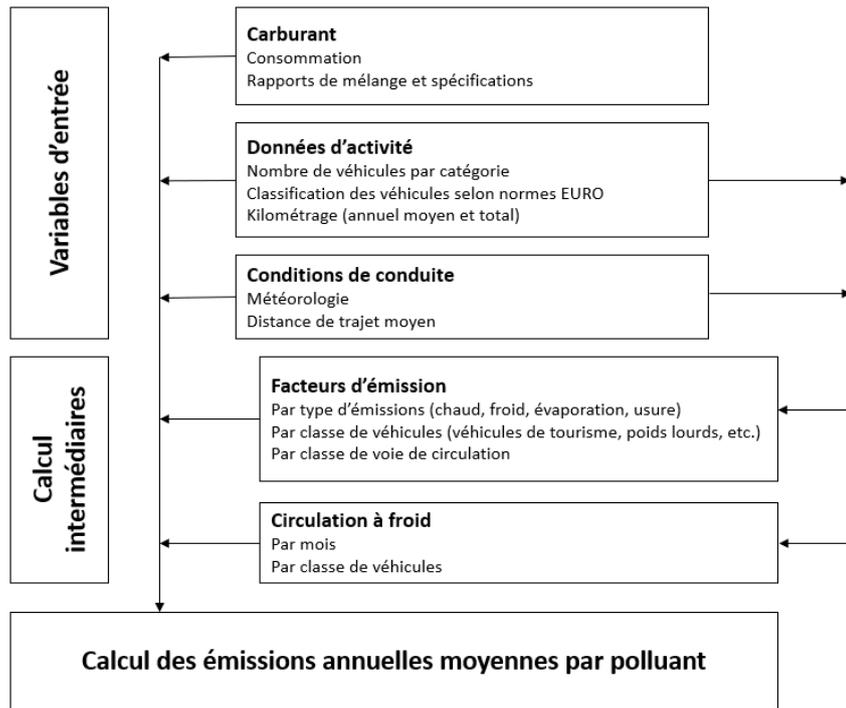
⁶³ Guide méthodologique pour la détermination des émissions dans l'atmosphère d'une zone aéroportuaire à l'exception des aéronefs, DGAC-STAC-CITEPA, mars 2013

Annexe 17 : Méthodologie de calcul des émissions du trafic routier en zone publique

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du trafic routier
Méthodologie de calcul	<p><u>Méthodologie de calcul EMEP/EEA publiée en 2023 (approche Tier 3)</u>⁶⁴</p> <p>La note présentée ici présente la méthodologie pour l'inventaire de l'année 2022.</p> <p>Le calcul des émissions routières repose sur les facteurs d'émission compilés dans la note méthodologique du rapport de 2023 publié par l'Agence Européenne de l'Environnement, qui présente différentes méthodes de calcul des émissions par secteur d'activité et par niveau de complexité. Elle concerne les émissions lors de la combustion de carburant, de l'évaporation de carburant présent dans le réservoir et le système de transmission et l'usure des freins et des pneus lors du roulage des véhicules. Plus précisément, les documents suivants ont été utilisés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1.A.3.b.i-iv Road transport 2023 - 1.A.3.b.v Gasoline evaporation 2023 - 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear 2023 <p>Ces documents font partie intégrante de l'outil COPERT V (version en date de septembre 2022) développé par la société EMISIA⁶⁵ et supporté par l'Agence Européenne de l'Environnement. Il s'agit de cet outil qui a été utilisé dans le cadre du calcul des émissions routières.</p> <p>A noter que les émissions associées à l'usure de la chaussée et à l'utilisation de produits sur route (sel dégivrant, etc.) n'ont pas été considérées dans cette méthodologie de calcul.</p> <p>Dans l'approche Tier 3 utilisée dans le calcul des émissions routières, les émissions de gaz d'échappement sont calculées en utilisant une combinaison de facteurs d'émission et de données d'activité (le nombre total de véhicules-kilomètres, le parc roulant, etc.). Dans cette approche, les émissions totales de gaz d'échappement du transport routier sont calculées comme la somme des émissions à chaud (lorsque le moteur est à sa température de fonctionnement normale) et des émissions pendant les régimes thermiques transitoires du moteur (appelées plus fréquemment les émissions de "démarrage à froid"). Les émissions totales sont alors déduites selon l'équation ci-dessous :</p> $E_{\text{Total}} = E_{\text{Chaud}} + E_{\text{Froid}}$ <p>Avec:</p> <p>E_{Total} = Emissions totales (g) d'un polluant E_{Chaud} = Emissions (g) moteur à chaud stabilisé E_{Froid} = Emissions (g) démarrage à froid</p> <p>Les émissions des véhicules dépendent fortement des conditions de fonctionnement du moteur. Différentes situations de conduite imposent des conditions de fonctionnement du moteur différentes et, par conséquent, des émissions différentes. Dans ce sens, une distinction est faite entre la conduite urbaine, rurale et sur autoroute. Les émissions dues au démarrage à froid sont principalement attribuées à la conduite urbaine (et dans une moindre mesure à la conduite en zone rurale), car on s'attend à ce qu'un nombre limité de trajets commencent sur l'autoroute. Les conditions de conduites se traduisent par l'équation suivante :</p> $E_{\text{Total}} = E_{\text{Urbain}} + E_{\text{Rural}} + E_{\text{Autoroute}}$ <p>Enfin, les émissions totales sont calculées en combinant les données d'activité de chaque catégorie de véhicules avec un facteur d'émission associé. Ces facteurs d'émission dépendent de plusieurs paramètres comme les conditions de conduite, les conditions climatiques, l'âge du véhicule, etc.</p> <p>Le diagramme ci-dessous détaille les paramètres pris en compte pour le calcul des émissions.</p>

⁶⁴ <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023>

⁶⁵ <https://www.emisia.com/utilities/copert/documentation/>



Dans les paragraphes suivants, les méthodes de calculs pour les différentes émissions sont présentées. A noter que l'ensemble des tables de paramètres ne sont pas reportées dans cette annexe et peuvent être directement consultables dans les documents listés en préambule de cette annexe.

Emissions à chaud

Les émissions de gaz d'échappement à chaud dépendent de différents facteurs, dont la distance parcourue par chaque véhicule, sa vitesse, son âge, la taille du moteur et son poids. La formule de base pour estimer les émissions à chaud pour une période donnée, et en utilisant des facteurs d'émission obtenus de manière expérimentale, est la suivante :

$$E_{\text{Chaud};i,k,r} = N_k \times M_{k,r} \times e_{\text{Chaud};i,k,r}$$

Avec:

$E_{\text{Chaud};i,k,r}$ = émission à chaud pour le polluant i produite annuellement pour tous les véhicules de technologie k sur un route de type r

N_k = nombre de véhicules de technologie k , sur une année

$M_{k,r}$ = kilométrage annuel moyen pour un véhicule de technologie k sur une route r

$e_{\text{Chaud};i,k,r}$ = facteur d'émission en g/km pour un polluant i , un véhicule de technologie k , sur une route r

La vitesse du véhicule, qui est introduite dans le calcul via les différents modes de conduite, a une influence majeure sur les émissions de gaz d'échappement. Pour cela une seule vitesse moyenne représentative de chacun des types de routes "urbaines", "rurales" et "autoroutes" a été considérée.

Polluants concernés :

- CO, COVNM, NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}

Emissions à froid

Les démarrages à froid entraînent des émissions supplémentaires de gaz d'échappement. Ils ont lieu dans toutes les conditions de conduite mais principalement en milieu urbain ou rural car le nombre de démarrage des véhicules sur autoroute est limité

aux seules aires de repos par exemple. Les facteurs d'émission "à froid" sont moins documentés que pour les émissions à chaud, couvrant principalement des véhicules récents, essence, diesel ou GPL.

Les émissions dues au démarrage à froid sont calculées comme une émission supplémentaire par rapport aux émissions qui seraient attendues si tous les véhicules ne fonctionnaient qu'avec des moteurs chauds et des catalyseurs à température optimale. Un facteur pertinent, correspondant au rapport entre les émissions à froid et les émissions à chaud, est appliqué à la fraction de kilomètres parcourus avec un moteur froid. Le comportement de conduite (longueur des trajets) et les conditions climatiques influent sur le temps nécessaire pour réchauffer le moteur et/ou le catalyseur, et donc sur la fraction d'un trajet parcouru avec un moteur froid.

Les émissions à froid sont déduites de la formule suivante :

$$E_{\text{Froid};i,k} = \beta_{i,k} \times N_k \times M_k \times e_{\text{Chaud};i,k,r} \times ([e_{\text{Froid}} / e_{\text{Chaud}}]_{i,k} - 1)$$

Avec :

$E_{\text{Froid};i,k}$ = Emission à froid (g) pour un polluant i et pour tous les véhicules de technologie k

$\beta_{i,k}$ = fraction kilométrique de conduite à froid pour un polluant i et pour un véhicule de technologie k (12.4 km)

N_k = nombre de véhicules de technologie k, sur une année

M_k = kilométrage annuel moyen pour un véhicule de technologie k sur une route r

$e_{\text{Chaud};i,k,r}$ = facteur d'émission en g/km pour un polluant i, un véhicule de technologie k, sur une route r

$[e_{\text{Froid}} / e_{\text{Chaud}}]_{i,k}$ = rapport froid / chaud pour un polluant i et un véhicule de technologie k

Cas particulier du SO₂ :

Les facteurs d'émission sont directement proportionnels à la consommation de carburant selon le rapport de mélange des composés soufrés présents dans les carburants utilisés. Ces rapports sont reportés dans le tableau ci-dessous et proviennent du guide méthodologique EMEP cité en préambule de cette annexe.

Type de carburant	Rapport de mélange en composés soufrés (ppm, masse)
Essence	5
Diesel	3

Polluants concernés :

- CO, COVNM, NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}

Emissions par évaporation

La plupart des émissions par évaporation de COVNM proviennent des systèmes d'alimentation en carburant (réservoirs, systèmes d'injection et conduites de carburant) des véhicules à essence. Les émissions par évaporation des véhicules diesel sont considérées comme négligeables en raison de la présence d'hydrocarbures plus lourds et de la pression de vapeur saturante relativement faible du carburant diesel, et peuvent être négligées dans les calculs.

Les sources les plus importantes d'émissions par évaporation d'un véhicule sont les suivantes :

- les pertes par respiration à travers l'évent du réservoir. Les pertes par respiration sont dues à l'évaporation du carburant dans le réservoir pendant la conduite et le stationnement, en raison de la variation normale de la température diurne ;
- perméation/fuite de carburant. Prise en compte des fuites de carburant liquide et de la perméation à travers les composants en plastique et en caoutchouc du système de contrôle du carburant et de la vapeur.

Lors de la modélisation des émissions par évaporation dues aux pertes respiratoires et à la perméation du carburant, trois mécanismes distincts sont généralement pris en compte :

- les émissions diurnes,
- les pertes de fonctionnement,
- les émissions par imprégnation à chaud.

Les émissions sont calculées à partir de l'équation ci-dessous :

$$E_{voc} = \sum_s D_s \times \sum_j N_j \times (HS_j + e_{d,j} + RL_j)$$

Avec :

E_{voc} = émissions par évaporation (g)

D_s = nombre de jours pour lesquels le facteur d'émission saisonnier sera appliqué

N_j = nombre de véhicules essence dans la catégorie j

HS_j = Emission par imprégnation moyenne journalière (à chaud, tiède, à froid) d'un véhicule de catégorie j

$e_{d,j}$ = émission journalière moyenne d'un véhicule de catégorie j (g/jour)

RL_j = perte au roulage journalier moyen (à chaud, tiède, à froid) d'un véhicule de catégorie j (g/jour)

Et :

$HS_j = x \{ c [p e_{s,chaud,c} + (1 - p) e_{s,tiède,c}] + (1 - c) e_{s,chaud,fi} \}$

$RL_j = x \{ c [p e_{r,chaud,c} + (1 - p) e_{r,tiède,c}] + (1 - c) e_{r,chaud,fi} \}$

Avec :

x = nombre moyen de trajet par véhicule par jour, en moyenne sur une année

c = fraction des véhicules à essence équipés d'un carburateur et/ou d'un système de retour de carburant

p = fraction des trajets terminés avec un moteur chaud, c'est-à-dire un moteur qui a atteint sa température de fonctionnement normale et le catalyseur sa température d'allumage (en fonction de la température ambiante moyenne mensuelle)

$e_{s,chaud,c}$ = Facteur d'émission moyen à chaud des véhicules à essence équipés d'un carburateur et/ou d'un système de retour de carburant (en fonction de la volatilité du carburant et de la température ambiante mensuelle moyenne) (g/stationnement)

$e_{s,tiède,c}$ = facteur d'émission moyen à froid et à chaud des véhicules à essence avec carburateur et/ou de systèmes de retour du carburant (en fonction de la volatilité du carburant et de la température ambiante mensuelle moyenne) (g/stationnement)

$e_{s,chaud,fi}$ = facteur d'émission moyen à chaud des véhicules à essence équipés d'un système d'injection et d'un système d'alimentation sans retour (en fonction de la volatilité du carburant et de la température ambiante moyenne mensuelle) (g/stationnement)

$e_{r,chaud,c}$ = facteur d'émission moyen pour les pertes dues au fonctionnement à chaud des véhicules à essence avec carburateur et/ou d'un système de retour du carburant (en fonction de la volatilité du carburant et de la température ambiante moyenne mensuelle) (g/trajet)

$e_{r,tiède,c}$ = facteur d'émission moyen pour les pertes en fonctionnement à froid et à chaud des véhicules à essence avec carburateur et/ou système de retour de carburant (en fonction de la volatilité du carburant et de la température ambiante mensuelle moyenne) (g/trajet)

$e_{r,chaud,fi}$ = facteur d'émission moyen pour les pertes en fonctionnement à chaud des véhicules à essence avec systèmes d'injection de carburant et de carburant sans retour (en fonction de la volatilité du carburant et de la température ambiante moyenne mensuelle) (g/trajet)

Polluants concernés :

- COVNM

Usure des pneus et des freins

Les particules en suspension dans l'air sont produites par frottements entre les pneus d'un véhicule et la surface de la route, ainsi que lorsque les freins sont appliqués pour réduire la vitesse du véhicule. Dans les deux cas, la génération de forces de cisaillement par le mouvement relatif des surfaces est le principal mécanisme de production de particules. Dans une moindre mesure, un mécanisme supplémentaire implique l'évaporation du matériau des surfaces aux températures élevées développées pendant le contact.

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du trafic routier
	<p>Dans le calcul des émissions, les deux phénomènes suivants ont été considérés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Emissions de particules par frottement des pneus sur la chaussée : Les pneus d'un véhicule portent la charge du véhicule et des passagers, offrent la traction et la direction, et absorbent les variations de la surface de la route pour améliorer la qualité de roulement. L'usure de la bande de roulement des pneus est un processus physico-chimique complexe qui est alimenté par l'énergie de friction développée à l'interface entre la bande de roulement et la chaussée. Les particules d'usure des pneus et celles de la surface de la route sont donc inextricablement liées. Cependant, pour déterminer les facteurs d'émission, l'usure des pneus et l'usure de la surface de la route doivent, à l'heure actuelle, être traitées comme des sources de particules distinctes en raison du manque de données expérimentales sur les facteurs d'émission associés à différentes combinaisons pneu/surface de la route. Le taux réel d'usure des pneus dépend d'un grand nombre de facteurs, notamment le style de conduite, la position du pneu, la configuration de la traction du véhicule, les propriétés du matériau du pneu, l'état du pneu et de la route, l'âge du pneu, l'âge de la surface de la route et les conditions météorologiques. - Emissions de particules lors du freinage : Deux configurations principales de systèmes de freinage sont actuellement utilisées : les freins à disque, dans lesquels les plaquettes de frein plates sont pressées contre un disque métallique rotatif, et les freins à tambour, dans lesquels les plaquettes courbes sont pressées contre la surface interne d'un cylindre rotatif. Les freins à disque sont généralement utilisés dans les petits véhicules (voitures particulières et motocyclettes) et sur les roues avant des camions légers. Traditionnellement, les freins à tambour ont tendance à être utilisés sur les véhicules plus lourds, bien que les freins à disque soient de plus en plus utilisés sur les nouveaux véhicules lourds. Les garnitures de freins se composent généralement de quatre éléments principaux - liants, fibres, charges et modificateurs de friction - qui sont stables à haute température. L'effet de la position relative des freins sur un véhicule sur le taux d'usure est encore plus important que pour les pneus. Dans les voitures particulières et les motos, la force de freinage est principalement appliquée aux roues avant, tandis que les freins arrière servent surtout à maintenir la stabilité du véhicule. Dans le cas des camions lourds, l'énergie de freinage est répartie plus uniformément entre les essieux en raison des taux de décélération plus faibles et de la charge importante à l'arrière du véhicule. A noter que l'augmentation du poids des véhicules électriques a une incidence sur les émissions particulières, ce qui entraîne une augmentation de 10 à 15 % des émissions de PM₁₀ et de PM_{2,5} dues à l'usure des freins. A l'inverse, les véhicules électriques sont généralement équipés d'un système de freinage par récupération d'énergie qui transforme l'énergie de freinage en électricité. L'impact des véhicules électriques sur les émissions lors du freinage nécessite des investigations complémentaires et ce type de véhicule n'a pas été pris en compte dans le calcul. <p>La méthode retenue pour le calcul des émissions est la plus sophistiquée proposée dans le guide méthodologique EMEP (approche Tier 2) et peut être résumée selon l'équation suivante :</p> $TE = \sum_j N_j \times M_j \times EF_{TSP,s,j} \times f_{s,i} \times S_s(V)$ <p>Avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> TE = Emissions totales pour sur la couverture spatiotemporelle donnée (une année) N_j = nombre de véhicule dans la catégorie j M_j = kilométrage annuel moyen pour un véhicule de catégorie j EF_{TSP,s,j} = Facteur d'émission TSP pour le véhicule de catégorie j (g/mk) F_{s,i} = Fraction massique particulaire pour la classe i (PM₁₀, PM_{2,5}) S_s(V) = Facteur de correction pour un véhicule moyen à une vitesse V. <p>L'indice j est lié à la catégorie du véhicule. L'indice s correspond à la source d'émission (pneu ou freinage).</p>

Les facteurs d'émission pour l'usure des pneus sont listés dans le tableau ci-dessous – pour plus d'information (incertitudes, qualité des données, etc.) se référer au guide méthodologique correspondant et indiqué en préambule de cette annexe.

Catégorie de véhicules (j)	Facteur d'émission TSP (g/km)
Véhicules 2 roues	0,0046
Véhicule particulier (thermique)	0,0107
Véhicule particulier (hybride)	0,0111
Véhicule particulier (PHEV)	0,0112
Véhicule particulier (BEV)	0,0116
Véhicule utilitaire léger	0,0169
Poids lourd	Voir dans la suite du &

Dans le cas des poids lourds, le facteur d'émission nécessite la taille du véhicule (nombre d'essieux) et du chargement. Ceci est introduit à partir de l'équation suivante :

$$EF_{TSP,T,HDV} = \frac{N_{axle}}{2} \cdot LCF_T \cdot EF_{TSP,T,PC}$$

Avec :

$EF_{TSP,T,HDV}$ = Facteur d'émission TSP (g/km) pour le poids lourd

N_{axle} = Nombre d'essieux

LCF_T = Facteur de charge corrigé

$EF_{TSP,T,PC}$ = Facteur d'émission TSP pour un véhicule particulier (thermique)

Et :

$LCF_T = 1,41 + (1,38 \times LF)$

LF est un facteur de charge qui varie entre 0 (poids lourd vide) à 1 (chargement maximal). A noter que ces équations sont applicables également aux bus et cars de ville.

Une fois le calcul des émissions de TSP réalisé, les fractions massiques par classe de taille de particule sont appliquées (voir tableau suivant).

Classe de particules	Fraction massique
TSP	1,00
PM ₁₀	0,60
PM _{2,5}	0,42

La correction des émissions selon la vitesse moyenne de la catégorie du véhicule est réalisée selon l'expression mathématique suivante :

$V < 40$ km/h, $S_s(V) = 1,39$

40 km/h < $V < 90$ km/h, $S_s(V) = -0,00974 V + 1,78$

$V > 90$ km/h, $S_s(V) = 0,902$

Les facteurs d'émission pour le freinage sont listés dans le tableau ci-dessous – pour plus d'information (incertitudes, qualité des données, etc.) se référer au guide méthodologique correspondant et indiqué en préambule de cette annexe.

Paramètres Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du trafic routier

Catégorie de véhicules (j)	Facteur d'émission TSP (g/km)
Véhicules 2 roues	0,0037
Véhicule particulier (thermique)	0,0122
Véhicule particulier (hybride)	0,0097
Véhicule particulier (PHEV)	0,0066
Véhicule particulier (BEV)	0,0034
Véhicule utilitaire léger	0,0122 – 0,0173
Poids lourd	Equation ci-dessous

Le facteur d'émission concernant les poids lourds se calcule en ajustant le facteur associé aux véhicules particuliers (thermiques), selon l'équation suivante :

$$EF_{TSP,B,HDV} = 1.956 \cdot LCF_B \cdot EF_{TSP,B,PC}$$

Avec :

$EF_{TSP,B,HDV}$ = Facteur d'émission TSP (g/km) pour le poids lourd

LCF_B = Facteur de correction

$EF_{TSP,B,PC}$ = Facteur d'émission TSP pour un véhicule particulier (thermique)

Et :

$$LCF_B = 1 + 0,79 \times LF$$

LF est un facteur de charge qui varie entre 0 (poids lourd vide) à 1 (chargement maximal). A noter que ces équations sont applicables également aux bus et cars de ville.

Une fois le calcul des émissions de TSP réalisé, les fractions massiques par classe de taille de particule sont appliquées (voir tableau suivant).

Classe de particules	Fraction massique
TSP	1,00
PM ₁₀	0,98
PM _{2,5}	0,39

La correction des émissions selon la vitesse moyenne de la catégorie du véhicule est réalisée selon l'expression mathématique suivante :

$$\begin{aligned}
 &V < 40 \text{ km/h, } S_B(V) = 1,67 \\
 &40 \text{ km/h} < V < 95 \text{ km/h, } S_B(V) = -0,0270 V + 2,75 \\
 &V > 95 \text{ km/h, } S_B(V) = 0,185
 \end{aligned}$$

Polluants concernés :

- TSP, PM₁₀, PM_{2,5}

Données d'activité :
Parc roulant routier

La composition du parc automobile français utilisé pour le calcul des émissions est celui résultant de la modélisation UGE-IFSTTAR sur la période 1970 – 2050 et s'appuie sur les documents suivants :

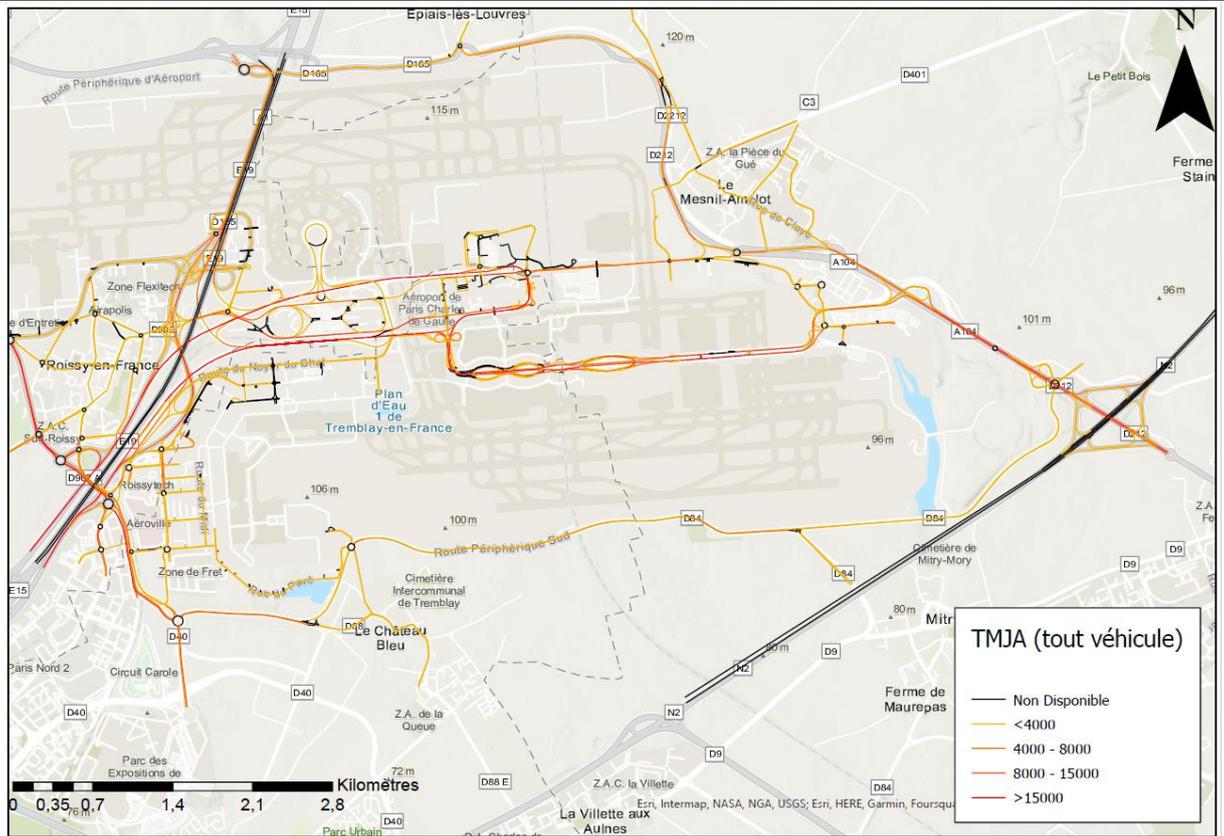
- Mise à jour 2023 de la composition du parc automobile français, période 1970-2050 résultant de la modélisation UGE-IFSTTAR – Notes – 19/03/2023

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du trafic routier
	<ul style="list-style-type: none"> - André, M., A.L. Roche, L. Bourcier. (2013). Statistiques de parcs et trafic pour le calcul des émissions de polluants des transports routiers pour la France. Rapport IFSTTAR-LTE, Bron (France), 132p. - André M., Allemand A., Roux C. Lekhal F., Hivert L. Boutueil V. (2019) : Connaissance et prospective des parcs automobiles. IFSTTAR, Bron, France, Rapport Ifsttar, 74 p. Travaux réalisés pour la DGITM. <p>Le parc est construit selon la trajectoire de deux scénarios d'évolution à l'horizon 2050 en considérant les travaux en lien avec la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBS) basés sur les hypothèses publiées en 2022, 2021, 2020 et 2018. An noter que dans le cadre de cet inventaire, le scénario AME (hypothèses les plus récentes) a été retenu.</p> <p>Ce parc a été initialement construit selon la nomenclature utilisée dans l'outil européen HBEFA4.2 (version révisée en février 2022), mais une conversion a été réalisée par l'université Gustave Eiffel pour une utilisation dans la suite logiciel COPERT V. Cette réaffectation n'a pas pu être réalisée pour l'ensemble des catégories des véhicules notamment les véhicules électriques ou hydrogène. Cependant, l'impact sur les émissions de polluants suivis dans cet inventaire est négligeable sur les émissions par échappement et évaporation. Concernant les émissions de particules par usures des pneus et des freins, les émissions des véhicules électriques sont non négligeables mais comme vu précédemment,</p> <p>En synthèse, le périmètre couvert par ce parc roulant est le suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parc automobile français, véhicules routiers, métropole, - Parc de véhicules particuliers, véhicules utilitaire léger, poids lourds, cars de ville, bus, motocycles, cyclomoteurs et quadricycles, - Composition du parc à résolution annuelle entre 1970 et 2050. <p>La structure du parc se décline selon :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Catégories de véhicules, - Sous-catégories le cas échéant (poids lourds articulés, etc.), - Carburant ou énergie utilisés (diesel, essence, hybride, etc.), - Taille des véhicules (cylindrée, segment commerciaux, catégories règlementaires, etc.), - Catégories règlementaires relative aux émissions de polluants (normes EURO). <p>Les données disponibles, simulées concernent :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le parc statique (en nombre de véhicules), - Le parc roulant ou en circulation (en véhicules x kilomètres parcourus par an), - Parcs en circulation en zone urbaine, rurale et sur autoroute (à partir de coefficients d'utilisation selon les réseaux routiers), - Autres données : kilomètres annuels et cumulés, vitesses de circulation.
<p>Données d'activité :</p> <p>Réseau routier,</p> <p>Vitesse et nombre de</p> <p>véhicule</p>	<p>Les caractéristiques des tronçons routiers pris en compte dans le cadre de cet inventaire sont issues des données du Groupe ADP et reposent sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les boucles de comptage opérées par le laboratoire du Groupe ADP et dont les données sont collectées en continu 24/7 sauf lors de travaux / dysfonctionnement, - Un modèle de trafic réalisant la modélisation d'une situation moyenne à l'heure de pointe du matin et à l'heure de pointe du soir, permettant de consolider les données de volume de trafic sur une année complète et sur le réseau routier aux abords des plateformes franciliennes. <p>Les données retenues pour chaque tronçon routier sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le nombre de véhicules total (tout véhicule), - Le nombre de poids lourds, - La vitesse moyenne (sans distinction du type de véhicule).

La figure suivante reprend les données de comptage dans l'environnement de la plateforme Paris-Charles de Gaulle ainsi que le taux de disponibilité des données.



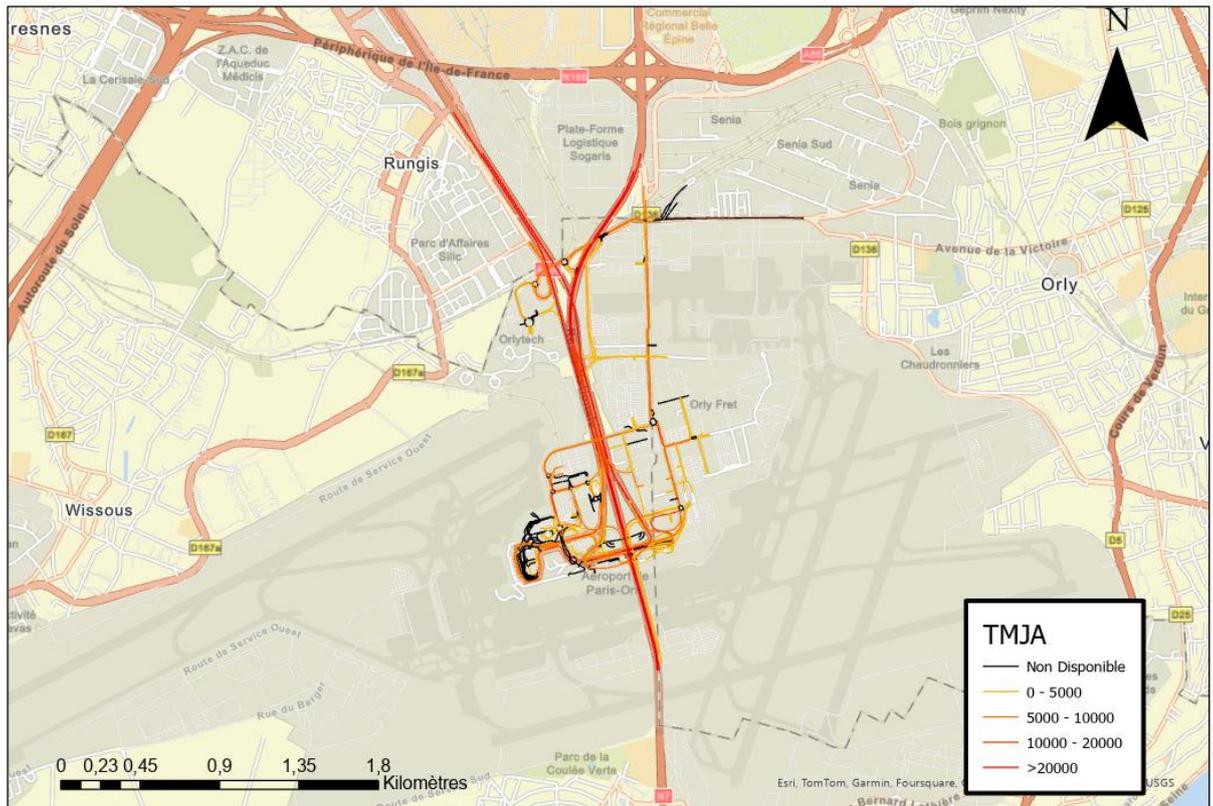
Les données modélisées sur le réseau routier couvert sont présentées sur la figure suivante selon le paramètre TMJA (Trafic Moyen Journalier Annuel) – tout véhicule. A noter que les tronçons routiers en noir soulignent une absence du nombre de véhicules (Paris-Charles de Gaulle).



La figure suivante reprend les données de comptage dans l'environnement de la plateforme Paris-Orly ainsi que le taux de disponibilité des données.



Les données modélisées sur le réseau routier couvert sont présentées sur la figure suivante selon le paramètre TMJA (Trafic Moyen Journalier Annuel) – tout véhicule. A noter que les tronçons routiers en noir soulignent une absence du nombre de véhicules (Paris-Orly).



Facteurs d'émission agrégés par type de porteur et type de contact

Les émissions ont tout d'abord été estimées sur le parc roulant UGE-IFSTTAR (pour chacune des années présentées dans ce document) dans sa totalité. Le niveau de détail dans ce parc étant largement supérieur aux données de comptage (et modélisées) dans l'environnement de la plateforme Paris-Charles de Gaulle, un travail d'agrégation a été effectué selon une méthode dite du Véhicule Moyen Equivalent (VME), afin de calculer les émissions directement sur chaque brin routier.

Un VME est un véhicule représentatif de l'ensemble des véhicules dans sa catégorie, sur un parc roulant particulier. Il s'agit d'un processus d'agrégation permettant par exemple d'assimiler, en un seul véhicule, tous les véhicules particuliers quel que soit le carburant utilisé, l'âge des véhicules, le kilométrage annuel moyen parcouru, etc. Un VME est donc un véhicule équivalent représentatif de sa catégorie. Les émissions sont calculées en g de polluants émis par kilomètre parcouru.

A noter que cette approche impose la circulation d'un même VME quel que soit le tronçon du réseau routier considéré. On perd donc les spécificités d'une zone routière donnée – sous réserve d'avoir un niveau de détail suffisant pour permettre de caractériser ces spécificités.

Pour rester au plus proche des données de comptage, trois catégories ont été retenues :

- PL : un VME de l'ensemble des poids lourds, bus et autocars
- VL : un VME représentatif de l'ensemble des véhicules particuliers et des véhicules utilitaires légers
- 2R : Les données de comptage n'intègrent pas les véhicules de type motos. Pour pouvoir les considérer, un troisième VME a été ajouté, 2R, assimilant tous les véhicules à 2 et 3 roues (exclusivement essence). Pour cela, la fraction 2R a été extraite du parc UGE-IFSTTAR (pour l'année considérée) pour recalculer le nombre total de 2R sur chacun des tronçons routiers, indexée sur le nombre de VL.

Cette approche permet de disposer d'une agrégation suffisante pour être appliquée au réseau routier tout en conservant le niveau de détail proposé dans la composition du parc UGE-IFSTTAR.

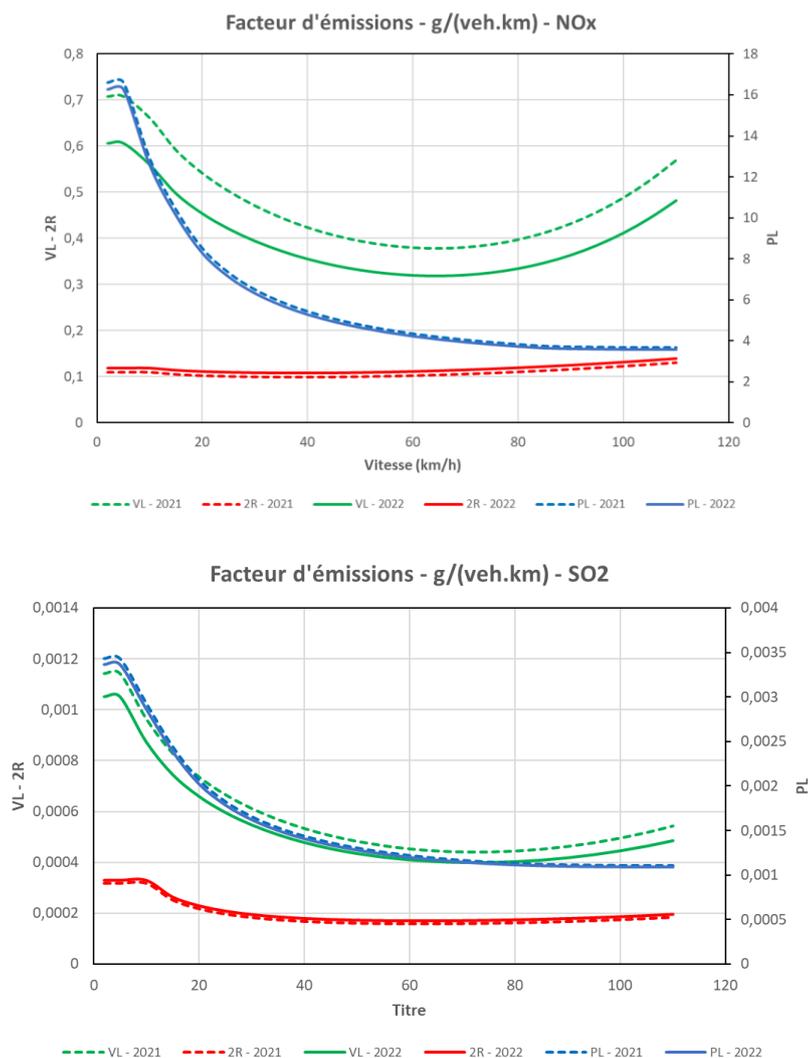
Une fois cette catégorisation réalisée, les émissions calculées par l'outil COPERT V et pour les trois sources émettrices ont été agrégés selon les VME discutés précédemment.

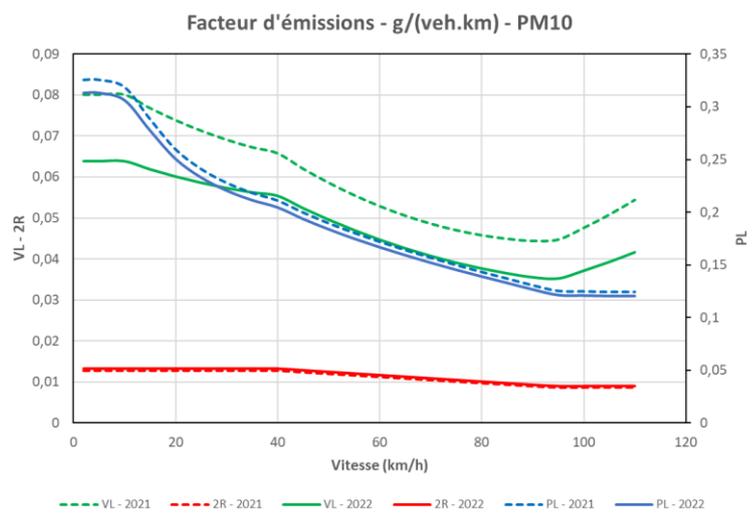
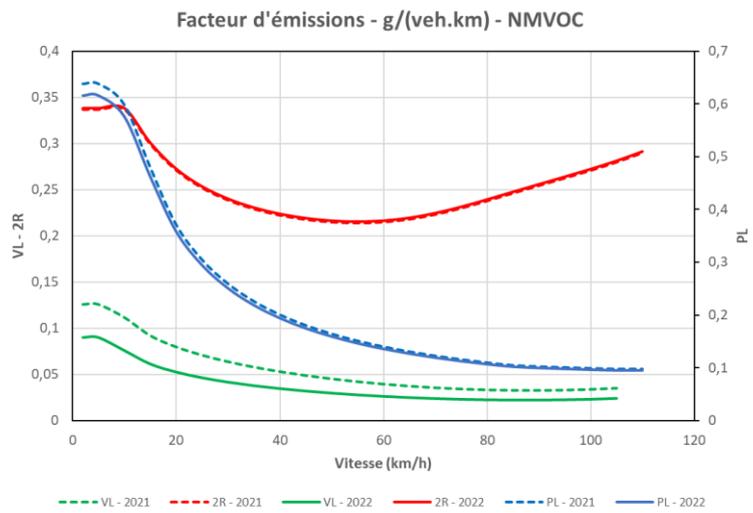
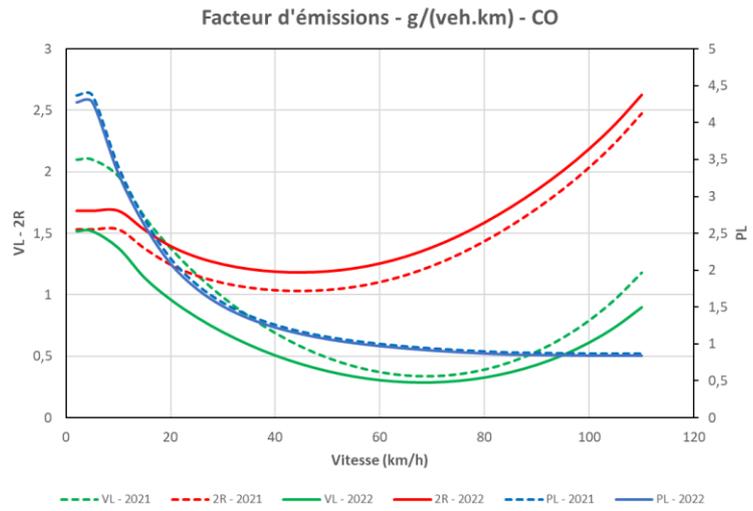
La prise en compte de la vitesse a été opérée sur une gamme comprise entre 5 et 110 km/h par pas de 5 km/h. On obtient ainsi des courbes d'émissions (en g/(veh.km)) par VME, par vitesse et par polluant (en pointillés les valeurs pour l'année 2021 ; en trait plein, pour l'année 2022). Tous les polluants sont présentés à l'exception des PM_{2.5} et les TSP dont les tendances sont analogues aux PM₁₀.

L'analyse comparée, entre les années 2021 et 2022, montre :

- Pour les NO_x : une baisse de l'ordre de 3% à 16% des facteurs d'émission, pour les PL et les VL respectivement et une augmentation de 8% concernant les 2R,
- Pour le SO₂ : une baisse de l'ordre de 2% à 10% des facteurs d'émission, pour les PL et les VL respectivement et une augmentation de 6% concernant les 2R,
- Pour le CO : une baisse de l'ordre de 3% à 26% des facteurs d'émission, pour les PL et les VL respectivement et une augmentation de 11% concernant les 2R,
- Pour les COVNM : une baisse de l'ordre de 4% à 33% des facteurs d'émission, pour les PL et les VL respectivement et une augmentation de 0,4% concernant les 2R,
- Pour les PM₁₀ : une baisse de l'ordre de 3% à 18% des facteurs d'émission, pour les PL et les VL respectivement et une augmentation de 3% concernant les 2R.

Au global, les facteurs d'émission sont en baisse en 2022 par rapport à 2021, traduisant la modernisation du parc roulant. On note cependant une augmentation des facteurs d'émission pour la catégorie 2R et pour l'ensemble des polluants. Cette tendance à la hausse, s'explique notamment par l'usage de véhicules de plus grosses cylindrées en 2022.





Annexe 18 : Méthodologie de calcul des émissions du trafic routier en zone réservée

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du trafic routier																																																																																																																																							
Méthodologie de calcul et facteurs d'émission	<p>Méthodologie de calcul EMEP/EEA publiée et mise à jour en 2023 (approche Tier 1)⁶⁶</p> <p>Le calcul des émissions routières repose sur les facteurs d'émission compilés dans la note méthodologique du rapport de 2023 publié par l'Agence Européenne de l'Environnement, qui présente différentes méthodes de calcul des émissions par secteur d'activité et par niveau de complexité. Elle concerne dans le cas des émissions routières en zone réservée des émissions lors de la combustion de carburant uniquement. Les autres secteurs émissifs comme l'évaporation de carburant présent dans le réservoir et le système de transmission et l'usure des freins et des pneus lors du roulage des véhicules n'ont pas été considérés par manque de données consolidées. Plus précisément, le document suivant a été utilisé :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1.A.3.b.i-iv Road transport 2023 <p>L'approche Tier 1 a été retenue et présente les facteurs d'émission par catégorie de véhicule en g par kg de carburant consommé. Ces facteurs d'émission sont listés dans le tableau suivant.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Catégorie de véhicule</th> <th>CO (g/kg)</th> <th>COVNM (g/kg)</th> <th>NOx (g/kg)</th> <th>PM (g/kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Véhicule particulier (essence)</td> <td>84,7</td> <td>10,05</td> <td>8,73</td> <td>0,03</td> </tr> <tr> <td>Véhicule particulier (diesel)</td> <td>3,33</td> <td>0,7</td> <td>12,96</td> <td>1,1</td> </tr> <tr> <td>Véhicule utilitaire léger (essence)</td> <td>152,3</td> <td>14,59</td> <td>13,22</td> <td>0,02</td> </tr> <tr> <td>Véhicule utilitaire léger (diesel)</td> <td>7,4</td> <td>1,54</td> <td>14,91</td> <td>1,52</td> </tr> <tr> <td>Poids lourd (diesel)</td> <td>7,58</td> <td>0,26</td> <td>33,37</td> <td>0,94</td> </tr> </tbody> </table>	Catégorie de véhicule	CO (g/kg)	COVNM (g/kg)	NOx (g/kg)	PM (g/kg)	Véhicule particulier (essence)	84,7	10,05	8,73	0,03	Véhicule particulier (diesel)	3,33	0,7	12,96	1,1	Véhicule utilitaire léger (essence)	152,3	14,59	13,22	0,02	Véhicule utilitaire léger (diesel)	7,4	1,54	14,91	1,52	Poids lourd (diesel)	7,58	0,26	33,37	0,94																																																																																																									
	Catégorie de véhicule	CO (g/kg)	COVNM (g/kg)	NOx (g/kg)	PM (g/kg)																																																																																																																																			
Véhicule particulier (essence)	84,7	10,05	8,73	0,03																																																																																																																																				
Véhicule particulier (diesel)	3,33	0,7	12,96	1,1																																																																																																																																				
Véhicule utilitaire léger (essence)	152,3	14,59	13,22	0,02																																																																																																																																				
Véhicule utilitaire léger (diesel)	7,4	1,54	14,91	1,52																																																																																																																																				
Poids lourd (diesel)	7,58	0,26	33,37	0,94																																																																																																																																				
Données d'activité : Parc roulant routier	<p>Les données de la composition du parc roulant sont issues du groupe ADP, représentatives du trafic sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle. Les données sont compilées dans le tableau ci-dessous pour l'année 2017.</p> <p>A noter :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Seuls les véhicules de type essence et diesel ont été pris en compte. - Les véhicules pris en compte ne concernent que les activités du groupe ADP. Les activités des assistants en escale ont été compatibles dans les émissions GSE <table border="1"> <thead> <tr> <th>Véhicules</th> <th>Electrique</th> <th>Fioul</th> <th>GNV</th> <th>Diesel</th> <th>GPL</th> <th>SANS</th> <th>Essence</th> <th>Total général</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4x4</td> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td>67</td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td>69</td> </tr> <tr> <td>Camion</td> <td>1</td> <td>2</td> <td></td> <td>26</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>Citadine</td> <td>48</td> <td></td> <td></td> <td>3</td> <td>3</td> <td></td> <td>63</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td>Divers</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td>10</td> <td></td> <td>24</td> <td>4</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>Elévateur</td> <td>21</td> <td></td> <td></td> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Espace vert</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Fourgon</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>155</td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td>157</td> </tr> <tr> <td>Fourgonnette</td> <td>70</td> <td></td> <td>1</td> <td>142</td> <td>1</td> <td></td> <td>4</td> <td>146</td> </tr> <tr> <td>Neige</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>245</td> <td></td> <td>159</td> <td>2</td> <td>247</td> </tr> <tr> <td>Remorque</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>24</td> <td></td> <td>74</td> <td>5</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td>SSI</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>12</td> <td></td> <td>2</td> <td>2</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>Transport en commun</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Véhicule de direction</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td>9</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>Total général</td> <td>151</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>704</td> <td>4</td> <td>260</td> <td>93</td> <td>797</td> </tr> </tbody> </table> <p>Ce parc a permis de déterminer une distribution des véhicules par catégorie de manière à assimiler les facteurs d'émission présentés dans cette section. La distribution des véhicules est présentée dans le tableau ci-dessous.</p>	Véhicules	Electrique	Fioul	GNV	Diesel	GPL	SANS	Essence	Total général	4x4	5			67			2	69	Camion	1	2		26		1		26	Citadine	48			3	3		63	66	Divers	3			10		24	4	14	Elévateur	21			8				8	Espace vert				2				2	Fourgon				155			2	157	Fourgonnette	70		1	142	1		4	146	Neige	1			245		159	2	247	Remorque	1			24		74	5	29	SSI				12		2	2	14	Transport en commun				6				6	Véhicule de direction	1			4			9	13	Total général	151	2	1	704	4	260	93	797
Véhicules	Electrique	Fioul	GNV	Diesel	GPL	SANS	Essence	Total général																																																																																																																																
4x4	5			67			2	69																																																																																																																																
Camion	1	2		26		1		26																																																																																																																																
Citadine	48			3	3		63	66																																																																																																																																
Divers	3			10		24	4	14																																																																																																																																
Elévateur	21			8				8																																																																																																																																
Espace vert				2				2																																																																																																																																
Fourgon				155			2	157																																																																																																																																
Fourgonnette	70		1	142	1		4	146																																																																																																																																
Neige	1			245		159	2	247																																																																																																																																
Remorque	1			24		74	5	29																																																																																																																																
SSI				12		2	2	14																																																																																																																																
Transport en commun				6				6																																																																																																																																
Véhicule de direction	1			4			9	13																																																																																																																																
Total général	151	2	1	704	4	260	93	797																																																																																																																																

⁶⁶ <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023>

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du trafic routier				
	Catégorie de véhicule	Nombre de véhicules	Fraction essence	Fraction diesel	
	Véhicule particulier (essence)	74	0.796	-	
	Véhicule particulier (diesel)	74	-	0.105	
	Véhicule utilitaire léger (essence)	19	0.204	-	
	Véhicule utilitaire léger (diesel)	154	-	0.219	
	Poids lourd (diesel)	476	-	0.676	
Données d'activité : Consommation annuelle de carburant	Les consommations de carburants sont issues de données du Groupe ADP pour l'année 2017 (Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget). A partir de ces données, une consommation de carburant théorique a été calculée, sur la base du nombre de mouvement sur chaque plateforme.				
	Type de carburant	Volume annuel consommé 2020 (l)	Volume annuel consommé 2021 (l)	Volume annuel consommé 2022 (l)	Facteur de conversion (l/kg)
	Essence	8 555	11 231	18 105	0.750
Diesel	74 699	95 626	152 110	0.860	

Annexe 19 : Tableau des résultats des émissions du trafic routier en zone publique – Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly

Paris-Charles de Gaulle

Emissions CO (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2022	292,14	36,63	99,13	427,90
Emissions COVNM (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2022	20,94	5,33	17,18	43,45
Emissions NOx (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2022	243,29	153,09	8,53	404,91
Emissions SO2 (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2022	0,32	0,04	0,01	0,37
Emissions TSP (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2022	45,19	7,67	1,16	54,02
Emissions PM10 (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2022	33,98	5,82	0,91	40,71
Emissions PM2,5 (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2022	21,35	4,12	0,66	26,13

Paris-Orly

Emissions CO (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2022	70,40	6,34	23,71	100,45
Emissions COVNM (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2022	4,96	0,92	4,09	9,97
Emissions NOx (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2022	55,55	27,13	2,01	84,69
Emissions SO2 (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2022	0,08	0,01	0,00	0,09
Emissions TSP (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2022	10,40	1,36	0,27	12,03
Emissions PM10 (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2022	7,80	1,02	0,21	9,03
Emissions PM2,5 (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2022	1,96	0,73	0,15	2,84

Annexe 20 : Méthodologie de calcul des émissions liées au trafic ferroviaire

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du trafic ferroviaire																				
Méthodologie de calcul	<p>Pour calculer les émissions de particules (TSP, PM₁₀, PM_{2,5}) issues de l'abrasion des freins, des roues, des rails et des caténaires liés au trafic ferroviaire sur la plateforme de Paris-Charles-de Gaulle, la méthodologie de calcul issu est la suivante :</p> $\text{Emissions}_{\text{polluant}} = \sum_{\text{ligne}} (\text{kilomètres parcourus}_{\text{ligne}} \times \text{Facteur d'émission}_{\text{polluant}})$ <p>Avec</p> <p>Emissions_{polluant} : (Tonnes/an)</p> <p>Kilomètre parcouru (km/an)</p> <p>Facteur d'émission_{polluant} (Tonnes/km) : Facteur Base OMINEA 2018</p> <p>La méthodologie utilisée dans le cadre de cet inventaire repose sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> Le guide OMINEA 2023 du CITEPA⁶⁷ pour le calcul des émissions liées au trafic RER et TGV ; Le guide méthodologique du PCIT (Pôle de Coordination des Inventaires Territoriaux) et du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire⁶⁸, associés au guide méthodologique de l'EMEP/EEA⁶⁹ pour les émissions du CDGVAL. 																				
Données d'activité : Nombre de passages des trains	<p>Le nombre de passage par an, la longueur des voies ou le nombre de kilomètre parcouru dans le périmètre de Paris-Charles de Gaulle en, 2022 pour chaque ligne (TGV, RER B, CDGVAL) utilisé pour le calcul des émissions des particules issues de l'abrasion est détaillé dans le tableau suivant.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lignes</th> <th>Nombre de passages / an</th> <th>Longueur de voie ferrée sur la plateforme (en km)</th> <th>Train.km en 2022</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TGV</td> <td>16 605</td> <td>4,4</td> <td>72 564</td> </tr> <tr> <td>RER B</td> <td>103 702</td> <td>6,0</td> <td>625 323</td> </tr> <tr> <td>CDGVAL ligne 1</td> <td>114 975</td> <td>3,5</td> <td>402 412</td> </tr> <tr> <td>CDGVAL ligne LISA</td> <td>114 975</td> <td>1,3</td> <td>149 467</td> </tr> </tbody> </table> <p>Les paragraphes suivants détaillent les hypothèses considérées pour l'estimation des données de trafic (offre) selon les différentes lignes ferroviaires.</p> <p>A noter que la longueur des voies a été déterminée via l'Open data SNCF tout en considérant les cartes SIG de la plateforme.</p> <p>TGV et RER B</p> <p>Concernant l'offre de transport TGV⁷⁰, le nombre de voyageurs utilisant les transports ferroviaires a fortement augmenté avec la fin des restrictions sanitaires dépassant ainsi le niveau de 2019 (+10,6%)</p> <p>Les données de trafic annuel concernant le RER B sont déduites des horaires de passage disponibles sur le blog du RER B⁷¹ concernant les deux directions : Robinson- Saint Rémy lès Chevreuse et Aéroport Charles de Gaulle 2 / Mitry-Claye. L'estimation repose sur le comptage des passages sur une journée⁷² (systématique sur les horaires incluant le 15 du mois considéré). Le nombre de passages mensuels est compilé sur la base du nombre de jours du mois et de la journée de comptage supposée représentative. Les résultats sont représentés sur la figure suivante.</p>	Lignes	Nombre de passages / an	Longueur de voie ferrée sur la plateforme (en km)	Train.km en 2022	TGV	16 605	4,4	72 564	RER B	103 702	6,0	625 323	CDGVAL ligne 1	114 975	3,5	402 412	CDGVAL ligne LISA	114 975	1,3	149 467
Lignes	Nombre de passages / an	Longueur de voie ferrée sur la plateforme (en km)	Train.km en 2022																		
TGV	16 605	4,4	72 564																		
RER B	103 702	6,0	625 323																		
CDGVAL ligne 1	114 975	3,5	402 412																		
CDGVAL ligne LISA	114 975	1,3	149 467																		

⁶⁷ Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France, OMINEA – 20^e édition – Mai 2023

⁶⁸ Guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires territoriaux des émissions atmosphériques (polluants de l'air et gaz à effet de serre) – Ministère de la Transition écologique et solidaire, version n°2, juin 2018

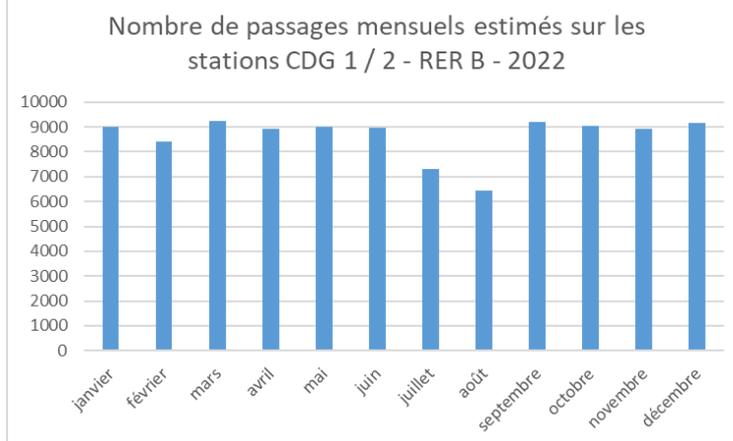
⁶⁹ 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear 2023

⁷⁰ Les évolutions de trafic sont issues du document : Bilan 2022 de la qualité de service des transports de voyageurs en France, AOST, Ministère de la transition écologique

⁷¹ <https://www.rerb-leblog.fr/horaires/>

⁷² Les horaires utilisés sont généralement représentatifs d'une période comprise entre 3 à 6 jours (selon travaux). A noter que les journées de travaux occasionnant l'absence de passage de train sur la station, sur la période estivale de l'année 2022, ont été prises en compte dans cette estimation.

Inventaire 2022 des émissions atmosphériques - Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly, Paris-Le Bourget



L'évolution sur l'année 2022 indique une offre stabilisée sur l'ensemble de la période à l'exception des mois de juillet et d'août 2022 - période propice aux travaux de maintenance du réseau ferroviaire et à un ralentissement d'une partie des activités économiques. Selon l'AOST, l'offre de transport reste légèrement inférieure à celle de 2019⁷³, comparable à celle de 2021. A titre de comparaison, l'estimation réalisée dans cet inventaire, correspond à 94% du trafic 2019 (proche de l'estimation en 2021, 93%).

CDGVAL

Les données sont issues des données de passages disponibles sur la page internet de la navette⁷⁴. Il est à noter qu'aucun impact de la crise sanitaire, sur l'offre de train, n'a été considéré.

Pour les TGV et le RER B, les facteurs d'émission TSP, PM₁₀, PM_{2.5} utilisés proviennent du guide méthodologique OMINEA 2023. Les facteurs d'émission retenus couvrent l'abrasion des freins, des roues des rails et des caténaires (l'ensemble de la flotte, RER B et TGV est considérée électrique).

Concernant les facteurs d'émission des particules pour le CDGVAL, la méthodologie du PCIT (Pôle de Coordination des Inventaires Territoriaux) a été appliquée (section émissions tramway et métro). Le CDGVAL est un modèle de métro, de deux rames, piloté par un poste central, se déplaçant automatiquement. Il s'agit d'un métro pneumatique constitué de deux essieux (bogies) de 4 roues chacun. Les facteurs d'émission de particules liées à l'usure des pneumatiques et des freins de la catégorie véhicules lourds du guide européen EMEP/EEA 2023 ont été utilisés car ils correspondent à des engins comparables aux métros en termes de gabarit. Un ajustement des facteurs d'émission a été réalisé en fonction du nombre de bogies équipant la rame de métro.

Le tableau suivant compile les facteurs d'émission retenus dans cet inventaire.

Facteurs d'émission

Source d'émission	Polluant	Ligne	Facteur d'émission (en g/km)
Usure des roues/rails	TSP	RER B / TGV	6,76
	PM ₁₀		3,38
	PM _{2.5}		1,01
Usures des pneumatiques et des freins	TSP	CDGVAL	0,154
	PM ₁₀		0,118
	PM _{2.5}		0,063
Usure des Catenaires	TSP	RER B / TGV	0,160
	PM ₁₀		0,160
	PM _{2.5}		0,020

⁷³ Les évolutions de trafic sont issues du document : Bilan 2021 de la qualité de service des transports de voyageurs en France, AOST, Ministère de la transition écologique

⁷⁴ <https://www.parisaeroport.fr/passagers/acces/paris-charles-de-gaulle/cdgval>

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du trafic ferroviaire			
	Usure des freins	TSP	RER B / TGV	15,6
		PM ₁₀		5,0
		PM _{2.5}		2,3

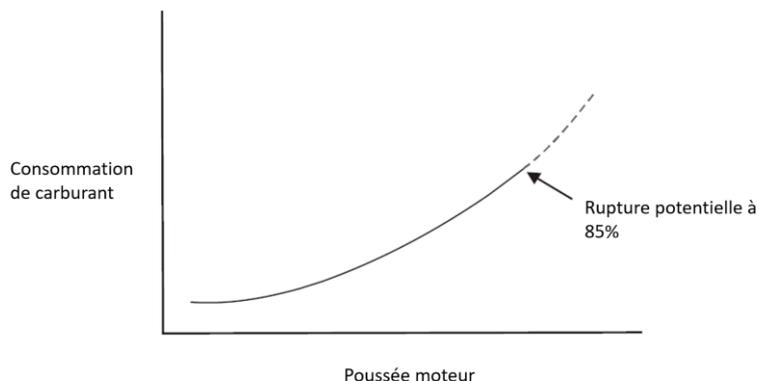
Annexe 21 : Méthodologie de calcul des émissions liées aux essais moteurs

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions essais moteurs
Méthodologie de calcul	<p>En 2012, Air France Industries a construit un banc d'essais moteurs de nouvelle génération sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle dans le prolongement du hangar H1. Cette plateforme est capable d'accueillir des moteurs à forte poussée et permet un traitement complet de tous les moteurs, du démontage, en passant par la réparation et les tests.</p> <p>Les émissions sont calculées pour la phase de tests, uniquement. La méthodologie employée provient de l'OACI⁷⁵ selon une approche sophistiquée telle que définit pour le calcul des émissions sur le cycle LTO. Dans les grandes lignes, cette approche se résume comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Association moteur / aéronef à partir de la référence moteur ; - Correction des facteurs d'émission selon la performance en fonction des conditions réelles d'utilisation ; - Intégration de la poussée moteur pour chaque phase considérée (modulée par la valeur de poussée) sur un cycle moteur ; - Correction sur la consommation de carburant calculée à partir des données réelles. <p>Les émissions sont calculées selon l'équation suivante :</p> $E_p = \sum_e \sum_m E_{m,e,p}$ <p>Avec :</p> <p>E_p : Emission totale pour un polluant p (en g)</p> <p>$E_{m,e,p}$: Emission pour un essai moteur (e), pour un moteur particulier (m) et pour un polluant p (en g).</p> <p>Ce dernier paramètre se calcule selon l'équation suivante :</p> $E_{m,e,p} = FC_{m,e} \times \sum_i (EF_{m,i,p} \times CC_{m,i,e} \times TIM_i)$ <p>Avec :</p> <p>$EF_{m,i,p}$: Facteur d'émission pour un polluant (p), pour une poussée appliquée à la phase (i) du cycle moteur et pour un moteur (m). Ce facteur est exprimé en g de polluant par kg de carburant consommé et est issu de la base EEDB de l'OACI extrapolé sur la valeur de poussée réelle (explication dans le paragraphe suivant dédié aux facteurs d'émission)</p> <p>$CC_{m,i,e}$: Consommation de carburant pour un cycle moteur (e), pour un moteur (m) donné et pour une poussée appliquée à la phase (i) du cycle moteur (en kg). Ce facteur est issu de la base EEDB de l'OACI extrapolé sur la valeur de poussée réelle (explication dans le paragraphe suivant dédié aux facteurs d'émission)</p> <p>TIM_i : Durée (en s) de la phase (i)</p> <p>$FC_{m,e}$: Facteur de correction pour un moteur (m) et un essai moteur (e).</p> <p>Le facteur de correction $FC_{m,e}$ est un ratio entre la consommation réelle (fournit par l'industriel) et la consommation calculée de carburant pour un cycle moteur. Il permet, de façon agrégée sur un cycle moteur, d'une part d'évaluer les écarts des estimations théoriques et d'autre part, de prendre en compte les conditions réelles sur un cycle (arrêt potentiel du cycle, etc.). Il se déduit de l'équation suivante :</p> $FC_{m,e} = \frac{CR_{m,e}}{\sum_i (CC_{m,i,e} \times TIM_i)}$ <p>Avec :</p> <p>$CR_{m,e}$: Consommation réelle de carburant par essai moteur (e) et par moteur (m) – valeur issue des données d'activité d'Air France Industries et exprimée en (l). La conversion en kg considère un carburant exclusif Jet A (constante appliquée : 0,79 l/kg)</p> <p>Les polluants considérés sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - NOx - SO₂ - COVNM - CO

⁷⁵ ICAO, Doc 9889, Airport Air Quality Manual, Second Edition, 2020. 3-A1-10

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions essais moteurs
	<ul style="list-style-type: none"> - PM₁₀ et PM_{2,5}
Facteurs d'émission	<p>La base de données EEDB⁷⁶ (Engine Emissions DataBank) de l'OACI, mise à jour le 20 juin 2023, utilisée pour la certification des moteurs avions a été considérée dans la détermination des émissions liées aux essais moteurs réalisés par air France Industries. Cette base fournit un jeu de données complet intégrant pour chaque moteur, des informations sur les émissions de gaz d'échappement des moteurs en production. Cette base a été compilée principalement à partir d'informations fournies pour les moteurs certifiés. Il est à noter que pour certains moteurs, les données sont révisées afin de refléter les résultats d'essais complémentaires. Cette base comprend également des données sur des moteurs plus anciens qui n'ont pas dû se conformer aux normes d'émissions actuelles (compte tenu de la date de mise en production du moteur en question) et peut intégrer d'autres sources d'informations notamment en provenance d'études scientifiques indépendantes.</p> <p>Les facteurs d'émission dans la base EEDB concernent l'ensemble des polluants tracés dans cet inventaire (à l'exception du SO₂ et des particules PM₁₀ et PM_{2,5}, polluants pour lesquels des hypothèses complémentaires ont été faites). Ces facteurs sont exprimés en g de polluant par kg de carburant consommé, pour une poussée moteur spécifique. Les poussées retenues, reflètent les étapes du cycle LTO, définies par l'OACI (approche, décollage, montée et roulage).</p> <p>Dans le cadre des essais moteurs, les valeurs de poussée peuvent varier de façon significative et ne pas correspondre aux valeurs reportées dans la base EEDB. Une extrapolation des facteurs d'émission aux valeurs de poussées réelles a été effectuée et repose sur la méthode quadratique double développée par l'OACI. Cette méthode comprend le calcul du débit de carburant en fonction de la poussée pour des poussées supérieures à 60% de la poussée nominale maximale selon les relations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour des poussées comprises entre 60% à 85% : facteur d'émission défini par une équation quadratique basée sur les points de poussée de 7%, 30% et 85% et sur les points de débit de carburant associés ; - Pour des poussées comprises entre 85% à 100% : facteur d'émission défini par une équation quadratique basée sur les poussées de 30%, 85% et 100% et les points de débit de carburant associés. <p>L'équation quadratique permet d'extrapoler les facteurs d'émission, bornés entre les poussées utilisées tel que :</p> $X = (\text{poussée moteur}) / (\text{poussée nominale maximale}), \text{ définie sur les points } X1, X2 \text{ et } X3$ $Y = \text{consommation de carburant à la poussée moteur spécifique (g/kg), valeurs } Y1, Y2 \text{ et } Y3$ <p>Les paramètres X et Y sont reliées par la formule suivante :</p> $Y = AX^2 + BX + C$ <p>Ainsi le calcul sur les trois couples poussée / consommation de carburant s'écrit :</p> $Y1 = AX1^2 + BX1 + C$ $Y2 = AX2^2 + BX2 + C$ $Y3 = AX3^2 + BX3 + C$ <p>Les équations ci-dessus permettent de déterminer pour chaque moteur, les constantes A, B et C selon :</p> $A = (Y3 - Y1) / ((X3 - X1) * (X1 - X2)) - (Y3 - Y2) / ((X3 - X2) * (X1 - X2))$ $B = (Y3 - Y1) / (X3 - X1) - A * (X3 + X1)$ $C = Y3 - A * X3^2 - B * X3$ <p>La consommation de carburant en fonction de la poussée suit une courbe croissante continue sur chaque intervalle, tel que présentée sur la figure suivante. Une rupture potentielle peut être observée au niveau des bornes de chacune des équations quadratiques.</p> <p>A noter que cette méthode a été appliquée sur l'ensemble des poussées moteur disponibles sur la gamme 6% à 100%.</p>

⁷⁶ <https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank>



Une fois que la consommation de carburant a été calculée pour un cycle moteur, la valeur obtenue est comparée aux consommations réelles par cycle. Le ratio $FC_{m,e}$, décrit dans le paragraphe précédent, traduit les écarts potentiels des calculs par rapport aux données observées. Les figures suivantes présentent les ratios par année (pour les 5 dernières années - période entre 2018 et 2022) sur l'ensemble des essais moteurs réalisés. Un ratio inférieur à 1 indique une sous-estimation des valeurs calculées par rapport à la valeur réelle. A l'inverse une valeur supérieure à 1 indique une surestimation des valeurs calculées par rapport à la valeur réelle. Sur ces figures, trois champs sont reportés :

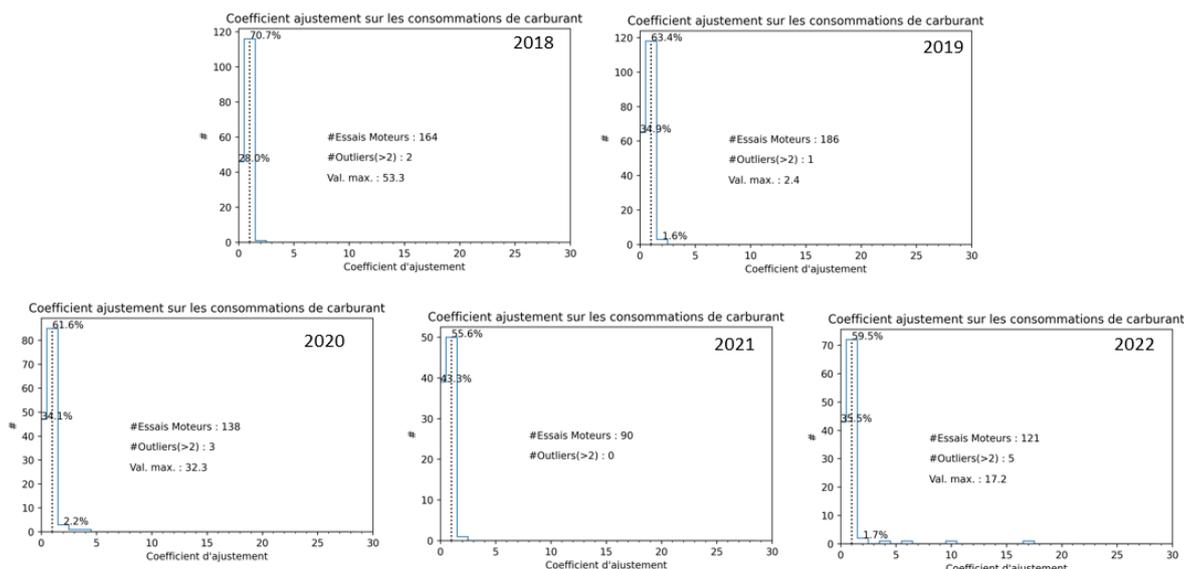
- "#Essais Moteurs" indique le nombre total d'essais moteurs réalisés sur l'année considérée ;
- "#Outliers(>2)" précise le nombre de surestimations d'un facteur 2 des consommations de carburant calculées, et considérées comme des surestimations importantes pouvant résulter des conditions spécifiques de test moteur et des incertitudes sur la méthode de calcul ;
- "Val. max." : coefficient d'ajustement maximal obtenu sur l'ensemble des essais annuels.

Enfin, un critère de satisfaction, centré sur 1, a été appliqué en considérant une incertitude de $\pm 0,50$ par rapport à la valeur réelle.

La figure suivante montre que :

- Selon les années, le critère de satisfaction est atteint sur une fourchette d'essais moteurs comprise entre 55 et 70% ;
- Selon les années, entre 28% et 43% des consommations de carburant calculées sont sous-estimées par rapport aux valeurs réellement mesurées ;
- Des surestimations importantes ("#Outliers(>2)") des consommations de carburant ont été identifiées pour environ de 4% des essais moteurs (un maximum de 5 essais en 2022).

Une fois ce traitement réalisé, les estimations des émissions des polluants (indexées directement à la consommation de carburant par phase) sont ajustées pour correspondre aux valeurs réelles de consommation en appliquant ce facteur correctif, par essai (sans distinction sur la phase ou la poussée moteur appliquée).



Les facteurs d'émission par polluant, disponibles dans la base EEDB, sont associés à une identification moteur unique. Compte tenu du niveau de détail plus faible concernant l'identification des moteurs dans les données d'Air France Industries, un moteur testé peut être associé à plusieurs moteurs dans la base EEDB. Dans ces conditions, tous les facteurs d'émission (dans une limite de 10 moteurs différents), sur les moteurs en base EEDB, sont pris en compte, pour chaque phase du cycle LTO. Une analyse statistique est effectuée et la valeur médiane de chaque échantillon est alors retenue.

Le calcul des émissions réalisé à partir de la valeur médiane génère une incertitude qui peut être encadrée entre les valeurs minimales et maximales sur les facteurs d'émission pour chaque moteur. La dernière section de cette annexe discute des incertitudes par polluant et par année liées à la prise en compte des valeurs médianes des facteurs d'émission.

Le tableau suivant dresse les correspondances trouvées entre les moteurs testés par Air France Industries et ceux contenus dans la base EEDB.

Moteur Air France Industries	Moteurs associés dans la base EEDB
CFM56-5B	CFM56-5B1 CFM56-5B2 CFM56-5B4
GE90-94	GE90-94B
GP7200	GE90-94B GE90-92B GE90-90B
CFM56-5A	CFM56-5A4 CFM56-5A3 CFM56-5A5
CFM56-5C	CFM56-5C2 CFM56-5C4 CFM56-5C3
GE90-100	GE90-90B GE90-115B GE90-110B1

Comme indiqué dans le paragraphe précédent, les facteurs d'émission retenus sont basés sur la valeur médiane de chaque échantillon moteur dans la base EEDB représentatif des moteurs utilisés dans le banc d'essais. Le tableau suivant compile pour chaque moteur testé, par phase du cycle LTO, les métriques statistiques (moyenne, percentiles, médiane et déviation standard) des facteurs de consommation de carburant exprimées en kg/s – la valeur médiane retenue dans les calculs est surlignée en rouge.

Consommation de carburant (kg/s)	CFM56-5A				CFM56-5B			
	Décollage (100%)	Montée (85%)	Approche (30%)	Roulage (7%)	Décollage (100%)	Montée (85%)	Approche (30%)	Roulage (7%)
Moyenne	1,000	0,821	0,281	0,099	1,317	1,077	0,355	0,114
Déviat ion stadard	0,119	0,095	0,023	0,005	0,135	0,103	0,026	0,006
Valeur mini	0,897	0,740	0,261	0,095	1,166	0,961	0,326	0,107
Percentile 25	0,935	0,770	0,269	0,097	1,263	1,037	0,345	0,112
Mediane	0,972	0,799	0,276	0,098	1,359	1,113	0,364	0,117
Percentile 75	1,051	0,862	0,292	0,101	1,393	1,136	0,370	0,118
Valeur max	1,131	0,925	0,307	0,104	1,426	1,158	0,376	0,119
Consommation de carburant (kg/s)	CFM56-5C				GE90/GP7200			
	Décollage (100%)	Montée (85%)	Approche (30%)	Roulage (7%)	Décollage (100%)	Montée (85%)	Approche (30%)	Roulage (7%)
Moyenne	1,379	1,134	0,371	0,121	3,458	2,798	0,892	0,298
Déviat ion stadard	0,074	0,060	0,015	0,003	0,066	0,047	0,020	0,011
Valeur mini	1,308	1,076	0,356	0,118	3,348	2,733	0,852	0,280
Percentile 25	1,341	1,104	0,363	0,119	3,415	2,760	0,880	0,292
Mediane	1,373	1,131	0,370	0,120	3,475	2,807	0,899	0,298
Percentile 75	1,414	1,163	0,378	0,122	3,514	2,841	0,907	0,303
Valeur max	1,456	1,195	0,386	0,124	3,523	2,848	0,917	0,316
Consommation de carburant (kg/s)	GE90-94				GE90-100			
	Décollage (100%)	Montée (85%)	Approche (30%)	Roulage (7%)	Décollage (100%)	Montée (85%)	Approche (30%)	Roulage (7%)
Moyenne	3,514	2,842	0,897	0,292	3,897	3,113	0,970	0,320
Déviat ion stadard	0,001	0,010	0,018	0,007	0,540	0,382	0,094	0,028
Valeur mini	3,513	2,831	0,876	0,284	3,348	2,733	0,852	0,280
Percentile 25	3,513	2,840	0,892	0,290	3,415	2,760	0,888	0,300
Mediane	3,514	2,848	0,908	0,296	3,831	3,080	0,964	0,324
Percentile 75	3,514	2,848	0,908	0,296	4,297	3,446	1,062	0,339
Valeur max	3,514	2,848	0,908	0,296	4,600	3,566	1,080	0,370
Consommation de carburant (kg/s)	Gen-X							
	Décollage (100%)	Montée (85%)	Approche (30%)	Roulage (7%)	Décollage (100%)	Montée (85%)	Approche (30%)	Roulage (7%)
Moyenne	2,246	1,845	0,610	0,200				
Déviat ion stadard	0,247	0,195	0,065	0,012				
Valeur mini	1,878	1,553	0,523	0,184				
Percentile 25	2,081	1,716	0,567	0,192				
Mediane	2,317	1,901	0,615	0,201				
Percentile 75	2,430	1,994	0,644	0,207				
Valeur max	2,494	2,037	0,701	0,216				

- Cas particulier SO₂ :

Les émissions de SO₂ sont calculées à partir du carburant consommé dont le flux varie selon le mode de fonctionnement de l'APU et du rapport de mélange des composés soufrés (convertis intégralement en SO₂) contenu dans un kg de carburant. La valeur de 1 g/kg de SO₂ a été retenue et provient du guide technique sur le calcul des émissions dues aux aéronefs, publié par le STAC en 2015⁷⁷.

- Cas particulier PM₁₀ :

Seul un facteur d'émission pour les émissions de particules sans distinction de taille est disponible dans la base EEDB. Il a été considéré une conversion totale en PM₁₀ (hypothèse majorante). A noter que seules particules non volatiles ont été calculées (la partie volatile est absente des calculs).

- Cas particulier PM_{2,5} :

La répartition granulométrique des particules issues de l'utilisation des moteurs APU selon le guide OMINEA⁷⁸ a été appliquée :

$$PM_{2,5} = 84,4\% PM_{10}$$

⁷⁷ https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/calc_emis_aero.pdf Page 21

⁷⁸ https://www.citepa.org/wp-content/uploads/Citepa_Ominea_ed2020.pdf

Paramètres

Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions essais moteurs

Air France Industries met à disposition ses bilans annuels d'essais moteurs réalisés sur l'année écoulée. Ces données contiennent, par essai, le type moteur, la date et la consommation de carburant en litre.

Les figures suivantes compilent les données (moteurs et consommations) sur les cinq dernières années.

Au niveau de la consommation de carburant :

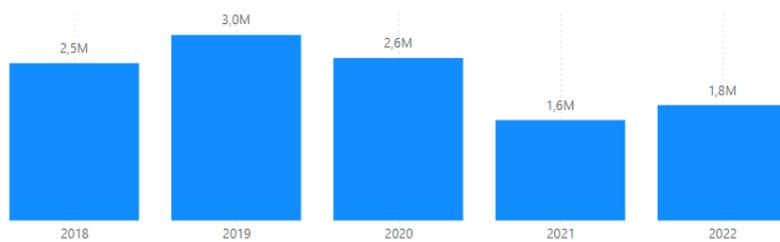
- Les consommations annuelles en 2018, 2019 et 2020 sont relativement similaires avec une consommation maximale obtenue en 2019 compte tenu d'un nombre d'essais moteurs le plus important (186) ;
- Une baisse notable est observée en 2021 par rapport à 2019 en raison d'un nombre d'essais en diminution et d'essais réalisés sur des moteurs plus récents et moins consommateurs ;
- Une augmentation du nombre d'essais en 2021 et en 2022 et de la consommation de carburant, mais toujours en-dessous de l'année de référence 2019.

En ce qui concerne le type moteur :

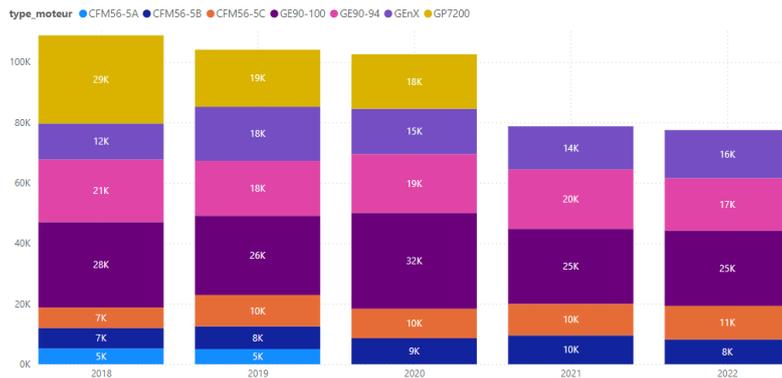
- En 2018 et 2019, 7 modèles de moteur ont été testés. En 2020, le moteur CFM56-5A est absent des tests. En 2021, on note l'abandon des tests sur le modèle GP7200 – réduisant les essais à 5 moteurs différents ;
- Sur l'ensemble de la période, les moteurs les plus testés sont les modèles GE90-100 et CFM56-5B.

A noter que la consommation annuelle totale pour l'année 2020 est du même ordre de grandeur que celles relevées en 2018 (2,6M contre 2,5M) malgré un nombre d'essais moteurs moins importants (138 contre 162) et la suppression d'un modèle dans le banc d'essais plus ancien et plus consommateur. Ceci peut s'expliquer à partir des variations annuelles des consommations moyennes de carburant par essai et par type moteur – variations intrinsèques aux conditions expérimentales appliquées lors de chaque essai.

Consommation de carburant (litre) par an



Consommation de carburant moyenne (litre) par type de moteur

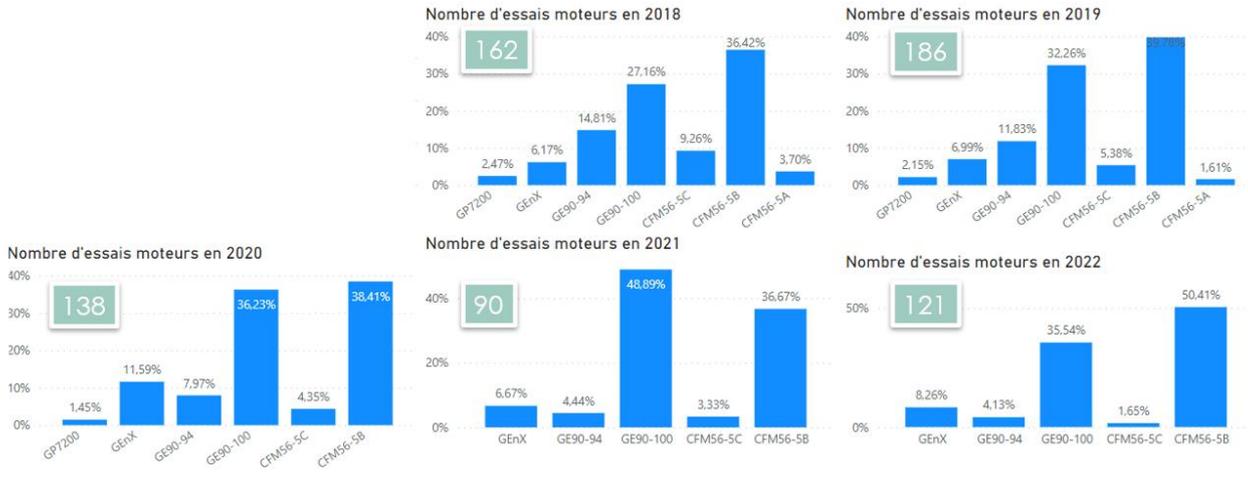


Données d'activité :

Consommation de carburant et type de moteur

Paramètres

Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions essais moteurs



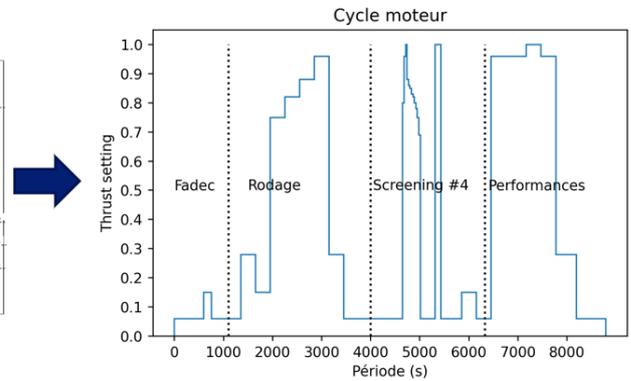
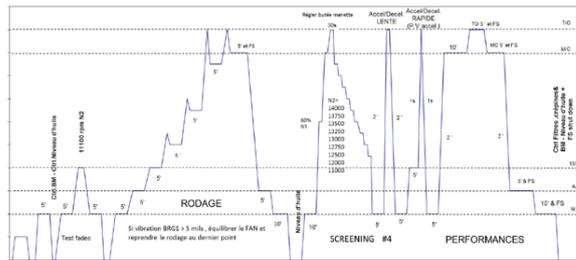
Les essais moteurs sont réalisés selon une procédure définie par étapes successives combinant poussée moteur et durée. Ces étapes sont regroupées selon 4 catégories : Fadec, Rodage, Screening #4 et Performances et modélisées à partir des données d'Air France Industries. La figure présente, à gauche, les données d'un cycle moteur en provenance d'Air France Industries et, à droite, le même cycle mais modélisé, dans le cadre des besoins calculatoires des émissions.

Plusieurs hypothèses ont été considérées :

- Selon les informations obtenues par Air France Industries, le cycle retenu (décrit dans la figure ci-dessous) est représentatif de l'ensemble des essais moteurs réalisés ;
- Les étapes courtes, dont la durée est inférieure à quelques secondes, notamment lors de la phase d'accélération et de décélération rapide (2 sec en montée et 2 sec en descente) – phase considérée ici comme très peu impactante sur les émissions totales résultantes.

Données d'activité :

Modélisation d'un cycle d'essai moteur



1. Suppression des phases courtes (< qq secondes)
2. Même cycle pour chaque moteur (prise en compte différences entre petits et gros moteurs)

Incertitudes liées aux facteurs d'émission utilisés

Dans le cadre de ce calcul, les émissions par polluant sont calculées à partir de la valeur médiane des facteurs d'émission de chaque moteur dans la base EEDB représentatifs des moteurs testés par Air France Industries. Le tableau suivant compile les incertitudes associées au calcul des émissions en prenant pour chaque moteur testé, les valeurs minimales et maximales des facteurs d'émission retrouvés dans la base EEDB et ceci pour chaque année. Les valeurs d'incertitudes peuvent se lire de façon suivante :

$$E_{calc} = E_{med} \pm E_{med} \times I[\%]$$

Avec:

E_{calc} : émission calculée

E_{med} : valeur de l'émission sur la base des facteurs d'émission médians

$I[\%]$: Incertitude exprimée en % et listée dans le tableau suivant

En synthèse, les résultats indiquent une plus grande dispersion des facteurs d'émission pour les COVNM pouvant conduire à une incertitude jusqu'à 63% en moyenne. Cette dispersion est la plus contenue au niveau des consommations de carburant (11% en moyenne). Pour les autres polluants, elle se situe entre 30% et 45%.

A titre indicatif, les incertitudes considérées dans le document méthodologique de l'EMEP / EEA⁷⁹, sur les facteurs d'émission par polluant et par secteur d'activité, sont présentées dans le tableau ci-dessous. Les données présentées ici indiquent que les incertitudes obtenues dans le cadre de l'estimation des émissions associées aux essais moteurs sont comparables (et inférieures) aux incertitudes reportés dans le guide de l'EMEP / EEA.

	Carburant et SO2	NOx	COVNM	CO	PM10 et PM2.5
2017	10%	27%	50%	35%	52%
2018	9%	32%	71%	45%	38%
2019	10%	28%	63%	40%	43%
2020	11%	29%	57%	38%	48%
2021	13%	35%	73%	46%	40%
2022	12%	35%	67%	43%	46%
Moyenne	11%	31%	63%	41%	45%
EMEP / EEA	20%-60%		100%-300%		

⁷⁹ EMEP / EEA, Guidebook 2023. Uncertainties. Chapter 2.4.2 p8