



Inventaire des émissions atmosphériques des aéroports franciliens

Année 2020

Paris-Charles de Gaulle

Paris-Orly

Paris-Le Bourget

15/03/2023



SOMMAIRE

Liste des tableaux	4
Liste des figures	5
Liste des abréviations	6
Contexte et objectifs de l'inventaire	8
a) Enjeux	8
b) Périmètre de l'inventaire	8
c) Contenu du document	12
Partie 1 : Synthèse du trafic aérien entre 2016 et 2020	13
Partie 2 : Synthèse des émissions de polluants atmosphériques	16
Partie 3 : Les émissions avions	18
a) Les données de trafic avions pour l'année 2020	18
b) Le cycle atterrissage – décollage : LTO	19
c) Les moteurs auxiliaires (APU) au poste	27
Partie 4 : Les engins et véhicules spéciaux (GSE dont GPU)	33
a. Méthodologie de calcul	33
b. Résultats des calculs d'émissions	34
Partie 5 : Le trafic routier	36
a. Trafic routier en zone publique	36
b. Trafic routier en zone réservée	41
c. Résultat des calculs d'émissions en zones publique et réservée	42
Partie 6 : le trafic ferroviaire (TGV et RER)	44
a. Méthodologie de calcul	44
b. Résultats des calculs d'émissions	44
Partie 7 : Les centrales thermiques (CTFE et CTP)	45
a. Méthodologie de calcul	45
b. Synthèse des émissions	45
Partie 8 : Etudes et réflexions engagées par source	48
Annexes	50



Liste des tableaux

Tableau 1: Travaux réalisés sur l'inventaire 2020 (X = Résultats présentés dans ce rapport / ↗ = Améliorations apportées à la méthode depuis le dernier inventaire / Les cases bleues correspondent à un couple source-polluant pour lequel des travaux complémentaires sont nécessaires / NC = couple source-polluant pour lequel aucun travail n'est à réaliser)	10
Tableau 2 : Caractéristique des différents niveaux d'approche pour un inventaire d'émissions d'après le guide de l'OACI 9889.....	11
Tableau 3: Nombre de mouvements avions par plateforme en 2020	18
Tableau 4 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du cycle LTO (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2020)	20
Tableau 5: Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des APU au poste (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2020 pour Paris-Orly, Paris-Charles de Gaulle et Paris-Le Bourget) 28	
Tableau 6 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des engins spéciaux au poste (en gras l'approche retenue pour l'inventaire 2020)	33
Tableau 7: Liste des origines des émissions de polluants	37
Tableau 8 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du trafic routier en zone publique (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2020).....	37
Tableau 9: Distances totales et vitesse moyenne sur le réseau Paris-Charles de Gaulle	38
Tableau 10 : Rapport de mélange des composés soufrés dans les carburants routiers	41
Tableau 11 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du trafic routier en zone publique (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2020)	41
Tableau 12 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier	43
Tableau 13: 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 2020	44
Tableau 14 Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des CTFE (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2020)	45
Tableau 15: Emissions des polluants des centrales thermiques mesurées en continu pour l'année 2020 en tonnes	45

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 2016 et 2020	13
Figure 2 : Synthèse des données du trafic aérien entre 2016 et 2020 sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle	14
Figure 3 : Synthèse des données du trafic aérien entre 2016 et 2020 sur la plateforme Paris-Orly	15
Figure 4: synthèse des émissions de polluants gazeux (CO, COVNM, NO _x , SO ₂) sur l'année 2020.....	16
Figure 5 : Synthèse des émissions de particules (PM ₁₀ et PM _{2.5}) sur l'année 2020	17
Figure 6 : Exemple pour un cycle LTO en configuration d'atterrissage et décollage face à l'Est à Paris-Charles-de-Gaulle	19
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-Charles de Gaulle	21
Figure 8 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5}) à Paris-Charles de Gaulle.....	22
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-Orly	23
Figure 10 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5}) à Paris-Orly.....	23
Figure 11 : 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	25
Figure 12 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5}) à Paris-Le Bourget	26
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-Charles de Gaulle	30
Figure 14 : 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.....	31
Figure 15 : 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	32
Figure 16 : 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	34
Figure 17 : Evolution pluriannuelle des émissions en tonnes de NO _x , HC, CO et PM ₁₀ avec les facteurs CDG 2018 pour la plateforme de Paris-Orly	35
Figure 18: 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).....	36
Figure 19: Méthodologie d'estimation des émissions par échappement, évaporation et abrasion	37
Figure 20: caractérisation d'un véhicule dans un parc roulant	39
Figure 21: Parc UGE-IFSTAR 2020, répartition par catégorie de véhicules, par nombre de kilomètres parcourus par an et par énergie	39
Figure 22: Facteurs d'émissions en fonction de la vitesse pour les NO _x sur la base des facteurs COPERT V et du parc UGE-IFSTAR-2020.....	40
Figure 23: Emissions totales sur l'année 2020 issues du trafic routier en zone publique, par polluant et par catégorie de véhicule.	42
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	46
Figure 25 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO _x , CO, TSP et SO ₂ et des temps de fonctionnement des CTFE de Paris-Orly.....	46

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)
APU	= Moteurs auxiliaires de puissance (Auxiliary Power Unit)
CAEP Protection)	= 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 frigorifique 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)
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'émissions (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)
UNFCC Convention on Climate Change)	= Convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques (United Nations Framework Convention on Climate Change)

Contexte et objectifs de l'inventaire

a) Enjeux

Conformément aux prescriptions des articles 26 et 49 du Décret n°2005-828 du 20 juillet 2005 relatif à la société Aéroports de Paris, le Groupe ADP s'est doté de moyens fixes et mobiles dédiés à la surveillance de la qualité de l'air pour les polluants réglementés et non réglementés au niveau des plateformes franciliennes (Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget). Les bilans trimestriels, annuels et les données du suivi sont disponibles en libre accès sur le site du Groupe ADP pour ses riverains¹. Ces bilans annuels montrent, pour l'année 2020, des niveaux exceptionnellement faibles pour les polluants surveillés en raison du contexte sanitaire particulier ayant entraîné une réduction du trafic aérien et routier.

Depuis 2020, la transformation du modèle aéroportuaire est perçue comme encore plus nécessaire. La nécessité d'accélérer la décarbonation du secteur aérien pour satisfaire aux enjeux sociétaux et environnementaux et les exigences accrues de la riveraineté des aéroports en matière de réduction des nuisances conduisent à accélérer la transition environnementale dans laquelle le Groupe ADP s'était engagée. Pour cela, 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, parmi lesquels celui de mesurer et suivre la qualité de l'air afin de contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air.

C'est dans ce contexte que 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.

b) Périmètre de l'inventaire

L'inventaire des émissions, présenté dans ce document, s'applique à l'année 2020, 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 principales dans les limites des propriétés des trois aéroports mentionnés. Dans le cas spécifique de Paris-Charles de Gaulle, l'inventaire s'étend aux infrastructures des transports routier et ferroviaire pour prendre en compte le trafic induit par les opérations sur les plateformes.

Les polluants atmosphériques, retenus dans cet inventaire, sont ceux préconisés par l'ACNUSA² et par 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 totale en suspension (TSP) ;
- Les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) ;

¹ [Entre voisins, le site du Groupe ADP](#)

² Rapport sur la gestion de la qualité de l'air sur et autour des plateformes aéroportuaires, ACNUSA, le 2 juin 2020

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

- 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).
- Les particules en suspension exprimées pour caractériser principalement le carbone suie ou "Black Carbon", ainsi que la liste des polluants étendus, 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 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 principales sources identifiées ici sont issues :

- des phénomènes de combustion dont les sources peuvent émettre des composés gazeux tels que les NO_x, 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 des chaussées, des freins et des pneumatiques relarguant des particules en suspension.

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 liées aux essais moteurs des aéronefs** ;
- **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 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.

Compte tenu des connaissances disponibles et des caractéristiques de chacune de ces sources d'émission, l'inventaire des émissions 2020 prend en compte les couples sources-polluants présentés dans le Tableau 1 suivant.

A noter que les résultats sont susceptibles d'évoluer dans les années futures en fonction de l'amélioration des connaissances sur les sources, les facteurs d'émissions ainsi que sur les méthodologies appliquées faisant consensus dans la communauté scientifique.

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

Tableau 1: Travaux réalisés sur l'inventaire 2020 (X = Résultats présentés dans ce rapport / ↗ = Améliorations apportées à la méthode depuis le dernier inventaire / Les cases bleues correspondent à un couple source-polluant pour lequel des travaux complémentaires sont nécessaires / NC = couple source-polluant pour lequel aucun travail n'est à réaliser)

Sources		Combustion					Abrasion		Autres	
		NO _x	CO	SO ₂	TSP/PM ₁₀	PM _{2.5}	COVNM	TSP/PM ₁₀	PM _{2.5}	COVNM
Avions (CDG, ORY, LBG)	LTO	X	X	X	X	X	X	X	X	NC
	APU	X	X	X	X	X	X	NC		
	Essai moteur									
Manutention des avions au sol (CDG, ORY)	GSE (dont GPU)	X	X	↗	X	↗	X			
	Stockage et distribution de carburant									
Trafic routier (CDG)	Zone Publique	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
	Zone Réservée	X	↗	↗	↗	↗	↗			
Trafic ferroviaire (CDG)	RER	NC						X	X	NC
	TGV							X	X	
	Val							X	X	

L'estimation des émissions, pour chacun des couples sources-polluants identifiés dans le tableau ci-dessus, dépend des données d'entrée nécessaires au calcul, en particulier leur fiabilité et leur précision. Quel que soit le type d'émissions 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 2 : 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 spécifiques 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 de raffinement accru par rapport à l'approche simple, concernant les types avions, les types de moteurs, les facteurs d'émissions et le temps passé dans chacun 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 2 : Caractéristique des différents niveaux d'approche pour un inventaire d'émissions d'après le guide de l'OACI 9889⁶.

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	Basse	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 réguliers 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.

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

c) Contenu du document

Le document présente le travail fourni dans le cadre de la réalisation de l'inventaire des émissions pour l'année 2020 sur les trois plateformes aéroportuaires franciliennes.

La première partie regroupe les informations associées au trafic aérien sur les plateformes durant l'année 2020 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.

La seconde partie synthétise les émissions calculées pour l'année sur les trois aéroports, selon les catégories et les activités opérationnelles.

De la troisième à la septième partie, les émissions sont détaillées par type secteurs 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.

Partie 1 : Synthèse du trafic aérien entre 2016 et 2020

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 2016 et 2020), en s'appuyant sur la base des 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 résumée comme suit :

- Entre 2016 et 2019, une augmentation de l'ordre de 6% et de 4% sur Paris-Charles de Gaulle et Paris-Le Bourget, respectivement et une baisse de 6% sur Paris-Orly imputable principalement à la baisse du nombre de mouvements entre 2018 et 2019 (-10 703 mouvements avions) suite, en particulier, aux limitations de mouvements induites par la fermeture pour travaux de la principale piste de Paris-Orly (fermée le 28 juillet et réouverte le 2 décembre) ainsi qu'aux effets de la faillite de la compagnie Aigle Azur qui a cessé ses activités à compter du 6 septembre ;
- Entre 2019 et 2020, les tendances sont à la baisse, quelle que soit la plateforme, 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.

Nom de la plateforme ● CDG ● LBG ● ORLY

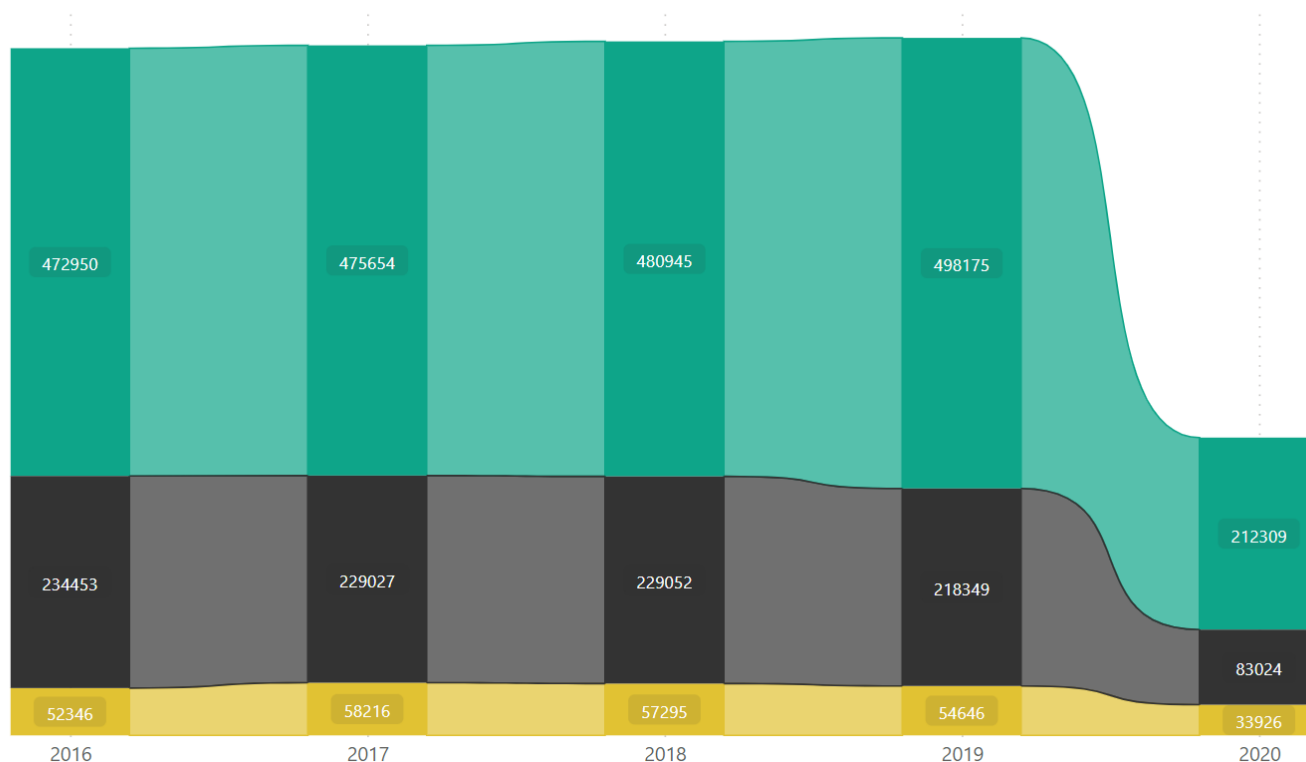


Figure 1 : Evolution pluriannuelle du nombre de mouvements sur les plateformes de Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget entre 2016 et 2020

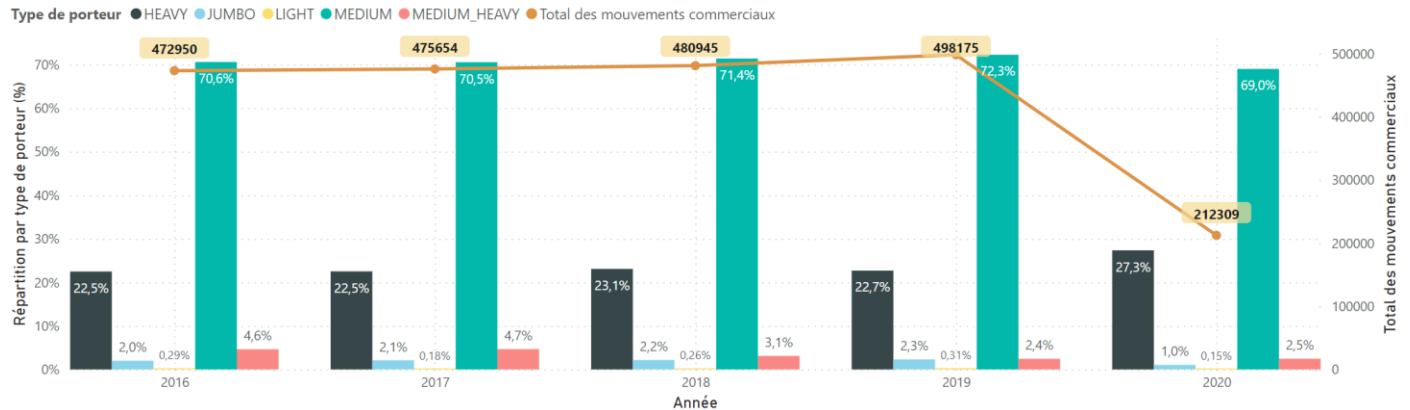
Dans la suite de ce paragraphe, sont présentées les évolutions, entre 2016 et 2020, du nombre de mouvements avions commerciaux par catégorie. Il s'agit de celles utilisées par le Groupe ADP et découlent de la nomenclature de l'OACI et de la FAA :

- LIGHT : regroupe les petits porteurs comme par exemple: Cessna C172, Embraer Phenom 100, etc. ;
- MEDIUM : regroupe les avions moyens porteurs; par exemple : boeing B737-500, Bombardier CS300, etc. ;
- MEDIUM-HEAVY : regroupe les moyens 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).

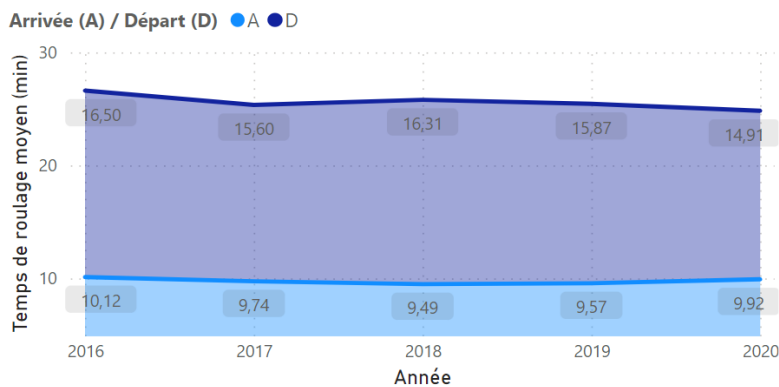
La liste des avions associés aux types de porteurs LIGHT, MEDIUM, MEDIUM-HEAVY, HEAVY et JUMBO est présentée, par plateforme, en Annexe

Les figures suivantes présentent également 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 moyen de passagers par avion commercial. A noter que seules les plateformes Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly sont concernées 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 avions, l'heure de la sortie et de l'entrée du 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 (en milliers)
2016	1 952 935	182 237	65933K
2017	2 011 530	183 699	69471K
2018	1 975 145	181 182	72230K
2019	1 926 841	175 092	76150K
2020	638 016	43 864	22257K

Nombre de passagers moyen par avion commercial et par trimestre

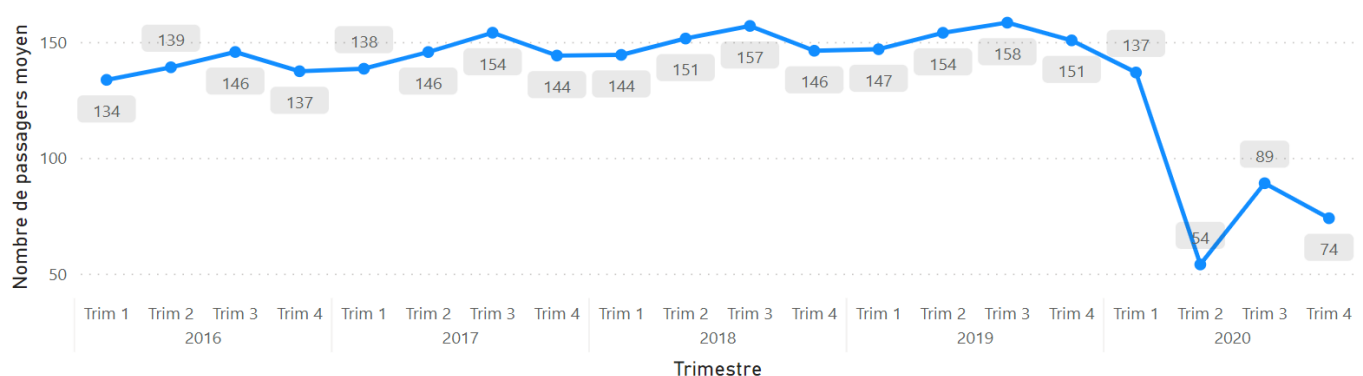
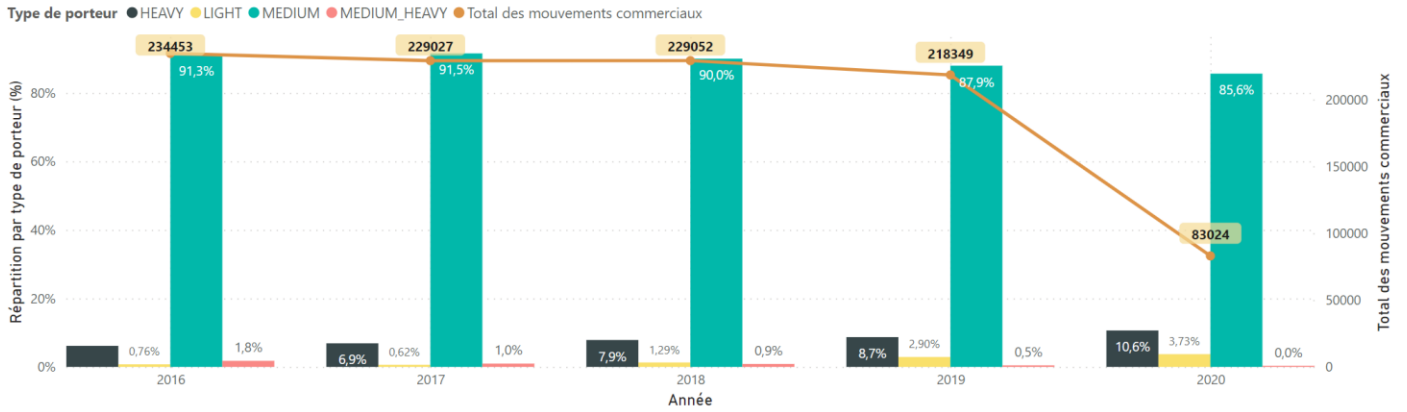


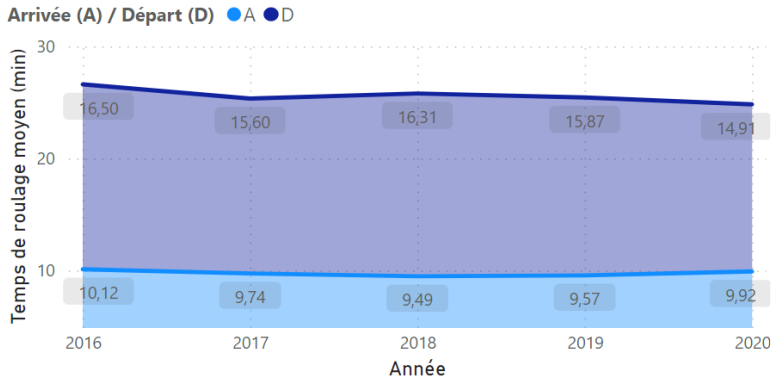
Figure 2 : Synthèse des données du trafic aérien entre 2016 et 2020 sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle⁷

⁷ Correction temps de roulage

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
2016	1 952 935	182 237	66M
2017	2 011 530	183 699	69M
2018	1 975 145	181 182	72M
2019	1 926 841	175 092	76M
2020	638 016	43 864	22M

Nombre de passagers moyen par avion commercial et par trimestre

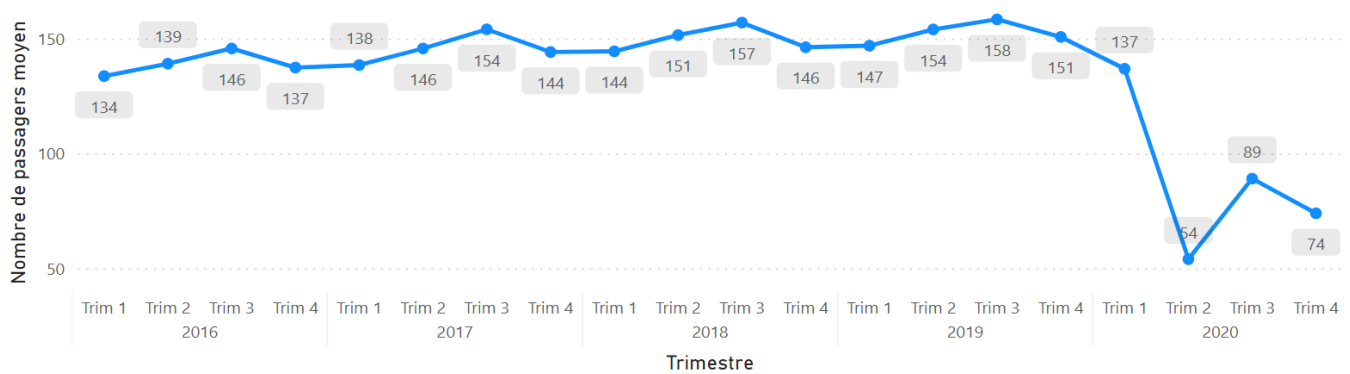


Figure 3 : Synthèse des données du trafic aérien entre 2016 et 2020 sur la plateforme Paris-Orly⁸

⁸ Correction temps de roulage

Partie 2 : Synthèse des émissions de polluants atmosphériques

Les émissions calculées par polluant sur l'année 2020 sont présentées dans les graphiques suivants. Ces visuels proposent la contribution des différents postes émetteurs pour chacun des polluants suivis dans cet inventaire. Les émissions totales sont également reportées ainsi que les tendances (en pourcentage) par rapport à l'année de référence, 2019. Les méthodologies utilisées pour le calcul des émissions, par sources et par plateforme, sont reportées en Annexe 2.

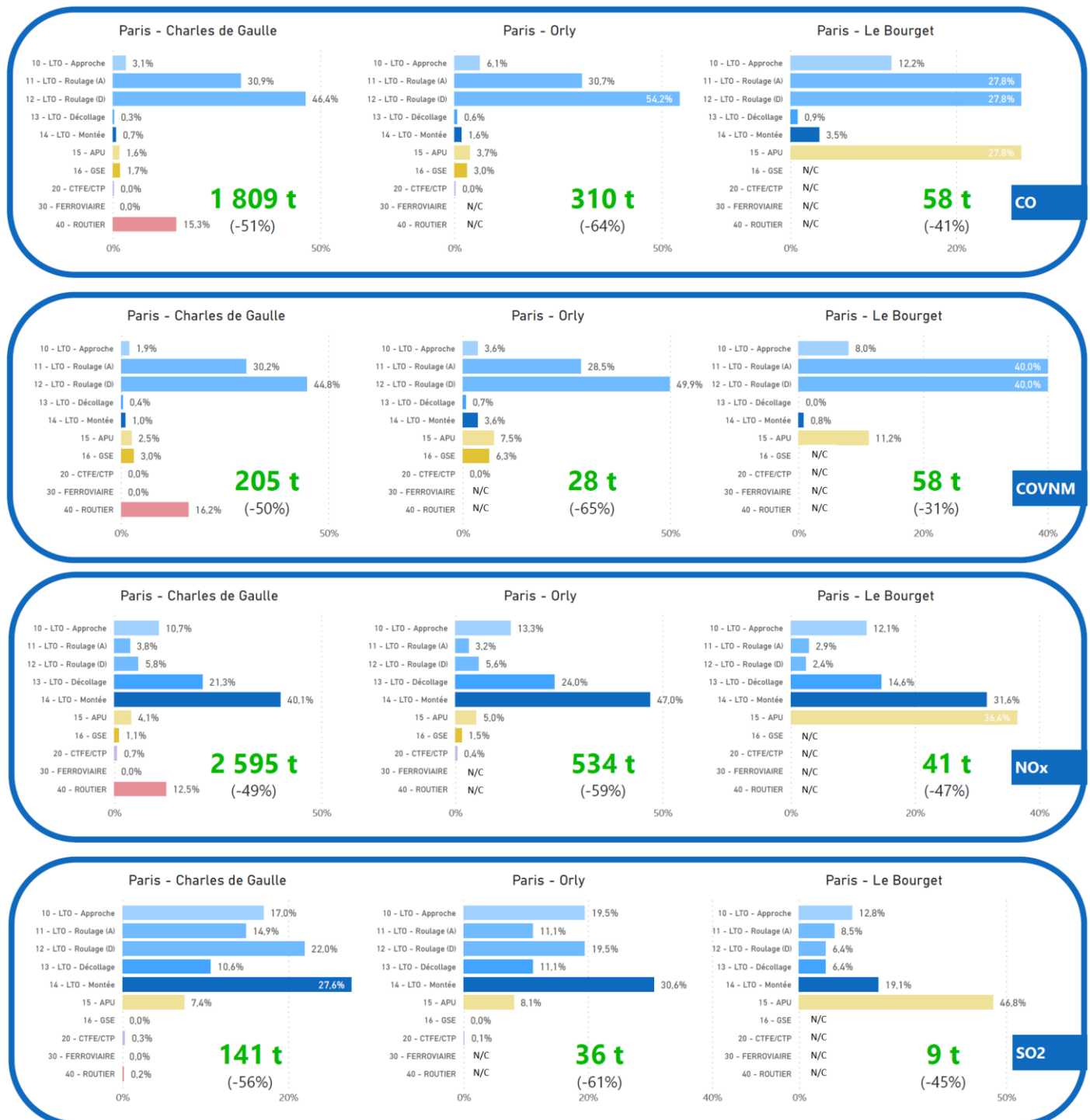


Figure 4: synthèse des émissions de polluants gazeux (CO, COVNM, NOx, SO₂) sur l'année 2020

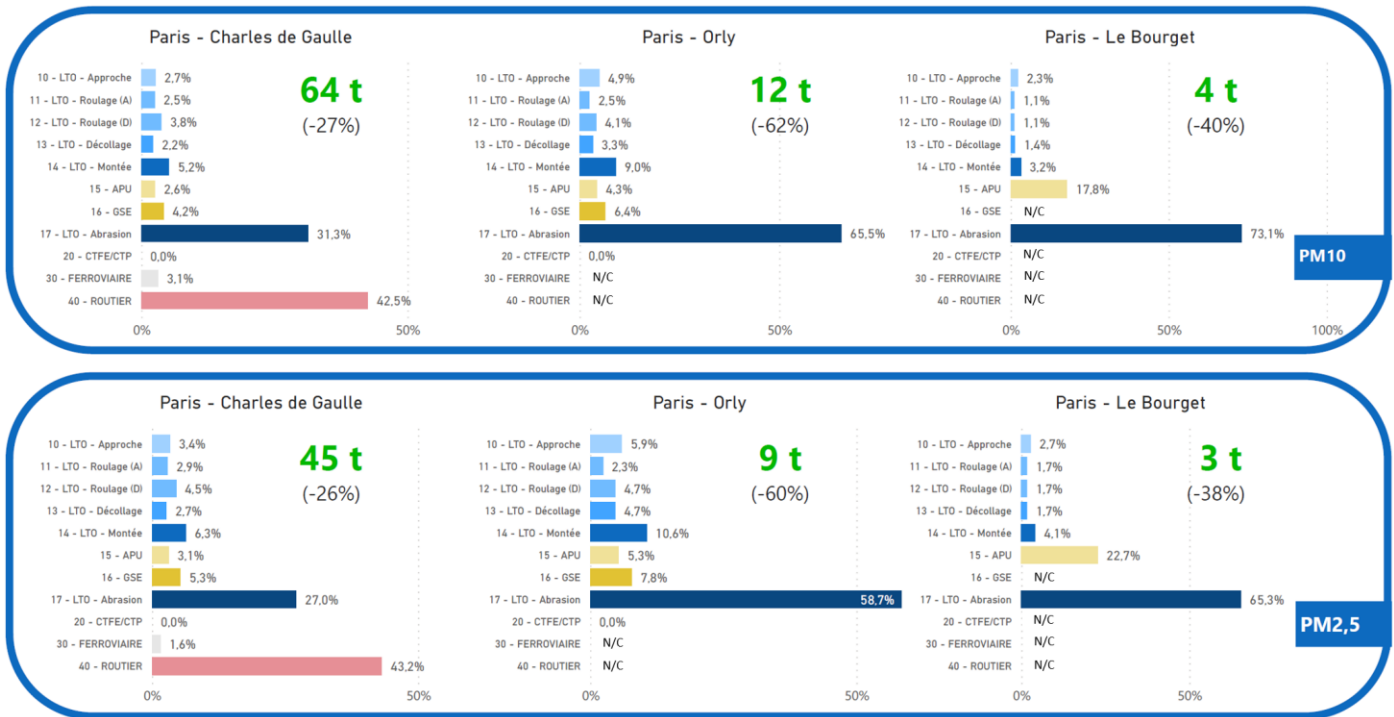


Figure 5 : Synthèse des émissions de particules (PM₁₀ et PM_{2,5}) sur l'année 2020

Partie 3 : Les émissions avions

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 données utilisées sont présentés dans la section suivante.

a) Les données de trafic avions pour l'année 2020

Les émissions présentées dans ce rapport sont basées sur le nombre de mouvements commerciaux publié par le Groupe ADP⁹. Pour 2020, le nombre de mouvements avions (de type commercial) par plateforme est présenté dans le Tableau 3 suivant :

Tableau 3: Nombre de mouvements avions par plateforme en 2020

Paris-Charles de Gaulle	212 309
Paris-Orly	83 024
Paris- Le Bourget	33 926

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 1) ;
- 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 avions, 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 estimés¹⁰ en moyenne à 5 minutes à l'arrivée et 5 minutes au départ.

⁹ <http://www.parisaeroport.fr/groupe/finances/rerelations-investisseurs/trafic>

¹⁰ 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 (Figure 6). 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 permet de déterminer la durée que passe l'avion dans chacune des phases de vol du cycle LTO ainsi que la distance maximale pour la prise en compte des émissions considérées dans l'inventaire par rapport à la plateforme.



Les émissions polluantes issues des réacteurs d'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'émissions, 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 CITEPA¹¹.

i) Méthodologie de calcul

Le Tableau 4 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'émissions 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'émissions associés à la combustion des moteurs principaux ;

¹¹ Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France. OMINEA – 19^e édition. CITEPA. Mars 2022

- 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'émissions 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 4 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du cycle LTO (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2020)

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'émissions	Emissions forfaitaires par cycle LTO (PM abrasion)	Facteurs d'émissions associés à un type avion	Facteurs d'émissions 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 OACI¹² 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'OACI¹³. Les émissions de particules issues de l'abrasion (pneus et freins) sont calculées par cycle LTO selon la méthodologie forfaitaire développée par le CITEPA¹⁴ (approche simple). L'application de ces méthodologies de calculs détaillée en Annexe 3, 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.

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

¹³ 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)

¹⁴ Guide OMINEA – 19^e édition, mars 2022 (CITEPA). Chapitre Transport aérien p.263

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, 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 (ne 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 7 et Figure 8. (Tableau chiffré en Annexe 4).

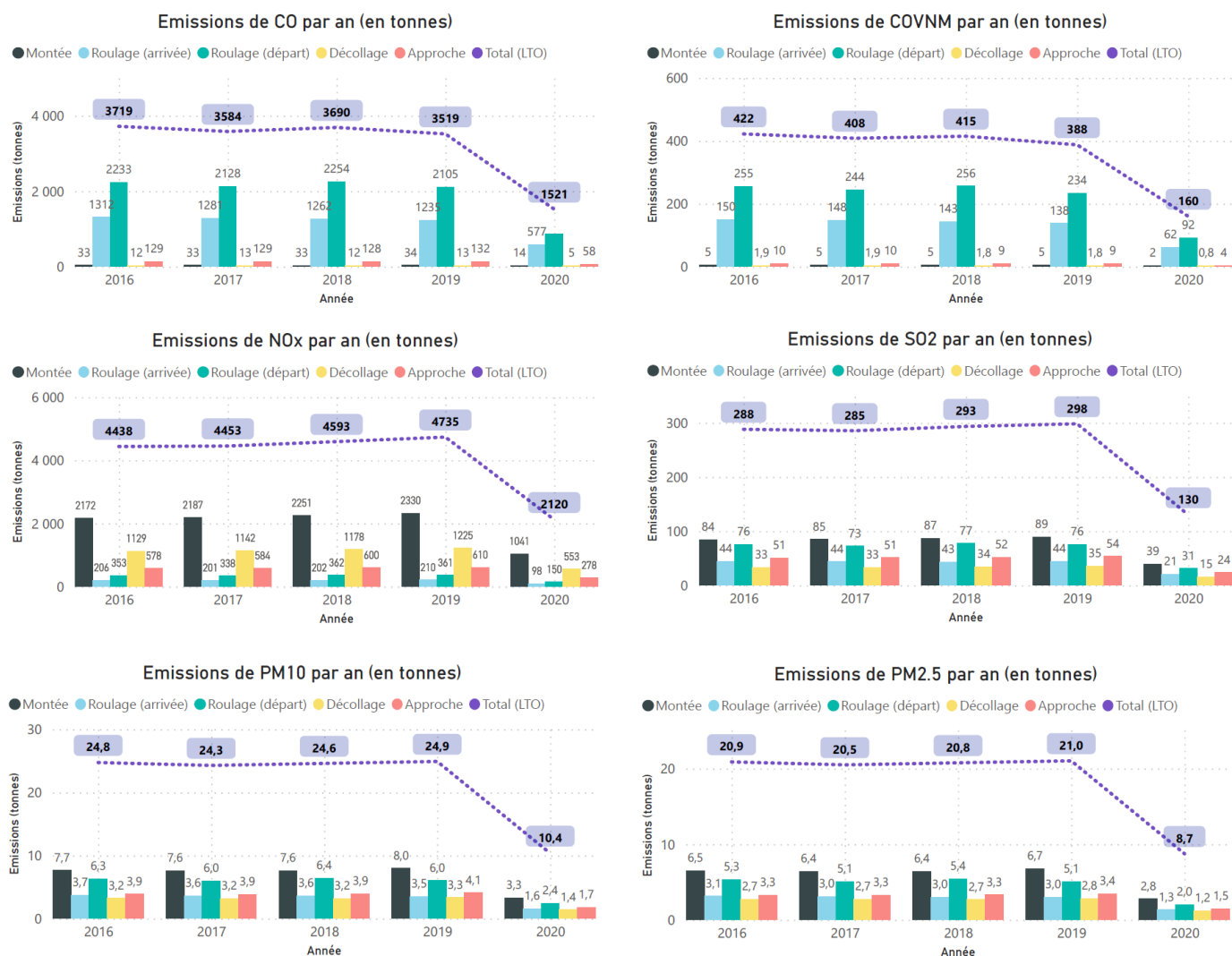


Figure 7 : Evolution des émissions par polluant (CO, COVNM, NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}) détaillée par phase du cycle LTO à Paris-Charles de Gaulle

Emissions de particules (abrasion) par an (tonnes)

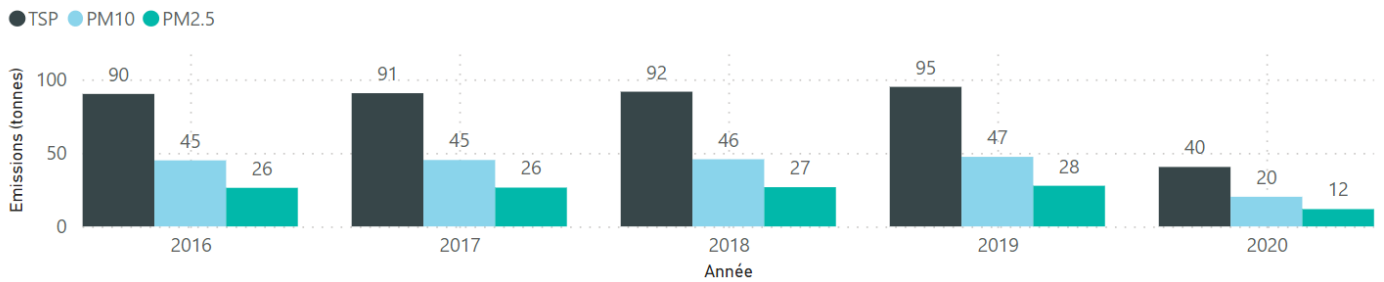


Figure 8 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM₁₀, PM_{2.5}) à Paris-Charles de Gaulle

A Paris-Charles de Gaulle, la tendance entre 2016 et 2019 est marquée par :

- Une augmentation des émissions de NO_x, SO₂, PM₁₀, et PM_{2.5} (combustion et abrasion), induite par un accroissement du nombre de mouvements avions observé durant cette période et une contribution équilibrée sur les émissions entre les phases du cycle LTO ; sensiblement plus marquée au moment du décollage et de la montée, moteurs à haut régime, pour les NO_x et le SO₂ ;
- Une légère baisse des émissions de COVNM et de CO – polluants émis plus particulièrement durant la phase de roulage, moteurs à bas régime, durant laquelle les temps ont diminué entre 2016 et 2019 (-4% à l'arrivée et -5% au départ entre 2016 et 2019, cf. Figure 2) compensant légèrement l'augmentation du nombre de mouvements avions observée sur cette période.

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 (NO_x, CO, SO₂ et COVNM, PM₁₀ et PM_{2.5}) et comprise entre - 53 et - 57% (baisse plus significative pour les polluants dont les contributions du roulage sont d'autant plus importantes).

- **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 9 et Figure 10 suivantes (tableau chiffré en Annexe 5).

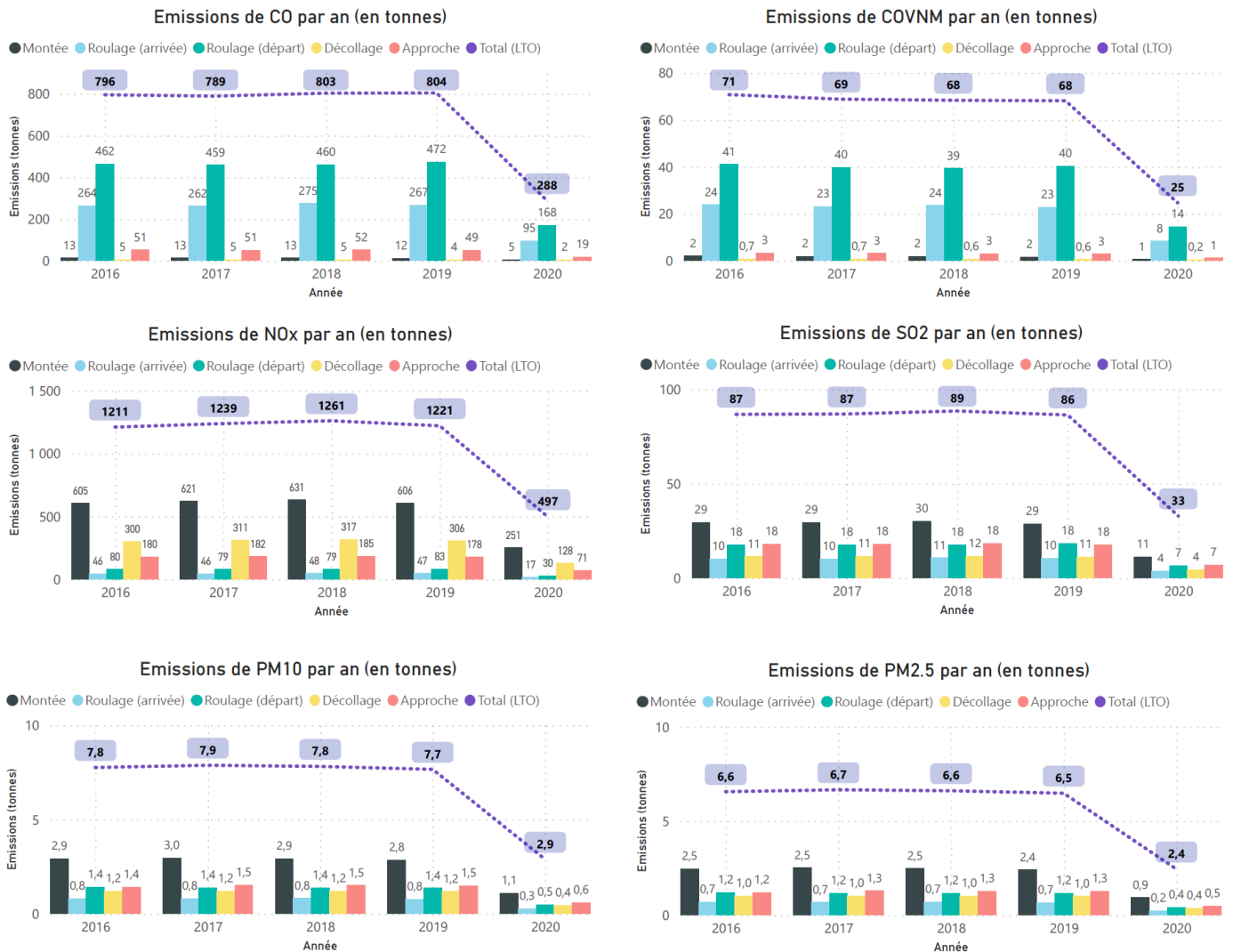


Figure 9 : Evolution des émissions par polluant (CO, COVNM, NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}) détaillée par phase du cycle LTO à Paris-Orly

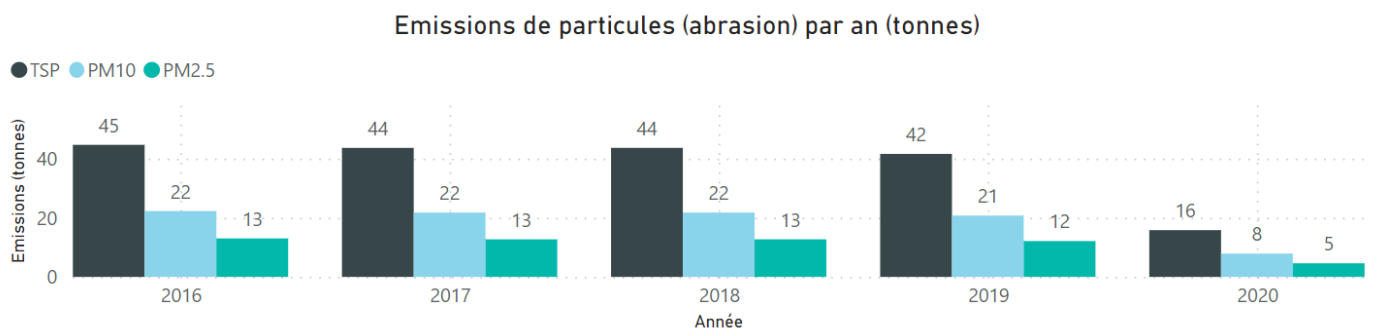


Figure 10 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM₁₀, PM_{2.5}) à Paris-Orly

A Paris-Orly, la tendance entre 2016 et 2019 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.

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).

• **Paris-Le Bourget**

L'évolution pluriannuelle des émissions issues de la combustion (COVNM, 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 11 et Figure 12 suivantes (tableau chiffré en Annexe 6).

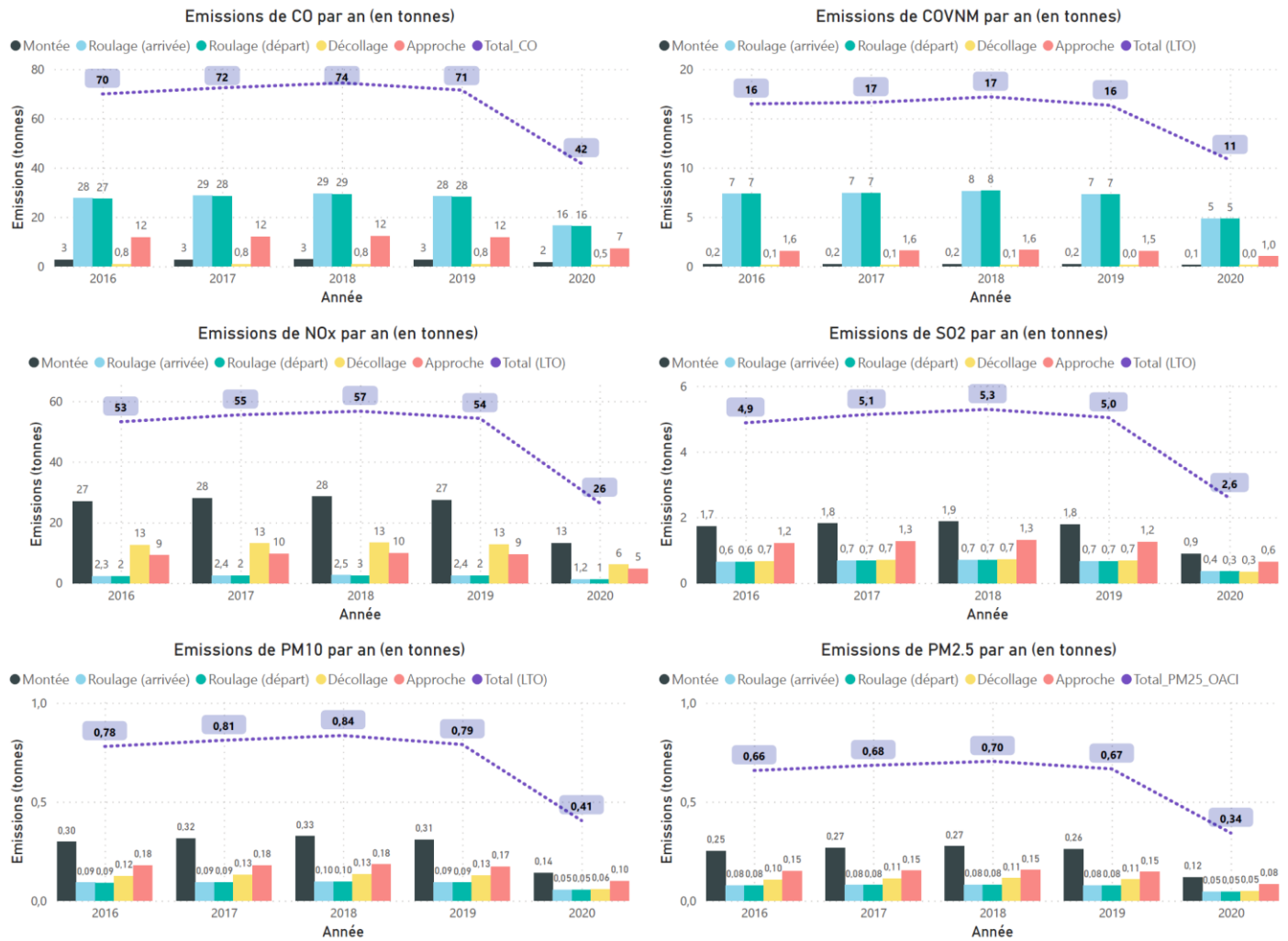


Figure 11 : Evolution des émissions par polluant (CO, COVNM, NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}) détaillée par phase du cycle LTO à Paris-Le Bourget

Emissions de particules (abrasion) par an (tonnes)

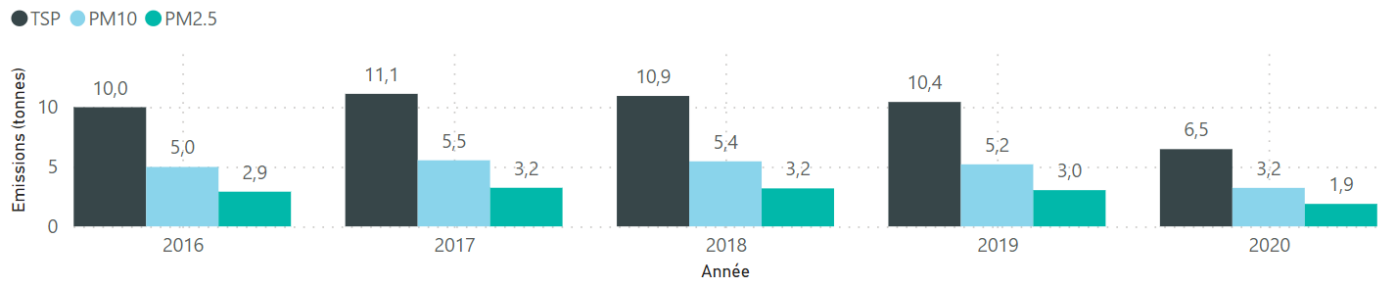


Figure 12 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM₁₀, PM_{2.5}) à Paris-Le Bourget

Les variations interannuelles sont dépendantes du nombre de mouvements, de la composition de la flotte d'avion 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 2016 et 2019 est marquée par une variation des émissions quel que soit le polluant directement proportionnelle au nombre de mouvements avions.

L'année 2020 est marquée par une baisse significative du nombre de mouvements à Paris-Le Bourget (- 20 520 mouvements par rapport à l'année 2019, soit environ une baisse de 38%), 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 - 31 et - 52%.

c) Les moteurs auxiliaires (APU) au poste

L'APU est un réacteur embarqué situé en général à l'arrière du fuselage de l'aéronef. Son utilisation au sol permet la mise en route des réacteurs principaux, le fonctionnement du système de climatisation/chauffage de la cabine et la production de l'énergie électrique de l'avion. 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 2012¹⁵. Il réglemente l'utilisation des moyens permettant aux aéronefs de s'alimenter en énergie et climatisation-chauffage lors de l'escale sur les aéroports 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).

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'émissions unitaires (exprimés en masse de polluant émis par unité de temps d'utilisation) et du nombre d'unités en fonctionnement.

L'approche retenue ici est issue de celle développée par l'OACI qui propose de classer les avions selon 6 catégories d'avions. Cette approche, dite avancée, intègre des facteurs d'émissions 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 ;
- 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 5 indique parmi les différentes méthodologies de calcul possibles, celle retenue pour le calcul des émissions APU dans cet inventaire (en gras dans le tableau).

¹⁵ 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 aéroports de Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000026257685/>

Tableau 5: Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des APU au poste (**en gras les approches retenues pour l'inventaire 2020 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'émissions 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'émissions 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'émissions unitaires utilisés sont issus du document guide de l'OACI selon l'approche avancée¹⁶. 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'émissions 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 utilisées sont issues de l'étude réalisée par l'ACNUSA en 2020¹⁷. 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 :

- 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 d'une énergie alternative (unités fixes ou mobiles électrifiées). Les émissions calculées sur ce poste peuvent être considérées comme majorantes.

La méthode de calcul utilisée ici diffère de celle utilisée dans le cadre des inventaires des émissions précédents¹⁸ en intégrant les nouveaux facteurs d'émissions de l'OACI et des temps plus réalistes issus de campagnes d'observations par un organisme de référence. Par ailleurs cette approche a permis d'uniformiser la méthode de calcul sur l'ensemble des plateformes aéroportuaires.

¹⁶ ICAO, Airport Air Quality Manual, Doc 9889, Second Edition, 2020 - page 3-A1-27 Table 3-A1-5

¹⁷ ACNUSA, Les groupes auxiliaires de puissance (APU) : Temps d'utilisation et réglementation – 9 septembre 2020

¹⁸ Groupe ADP – Inventaire des émissions atmosphériques des aéroports franciliens – Année 2019.

Différents paramètres et hypothèses, ont été pris en compte pour le calcul des émissions 2020. Une synthèse des hypothèses établies et des facteurs utilisés pour réaliser le calcul des émissions des APU est présentée en Annexe 7.

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 13, Figure 14 et Figure 15 suivantes (tableaux chiffrés en Annexes 8, 9 et 10). 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

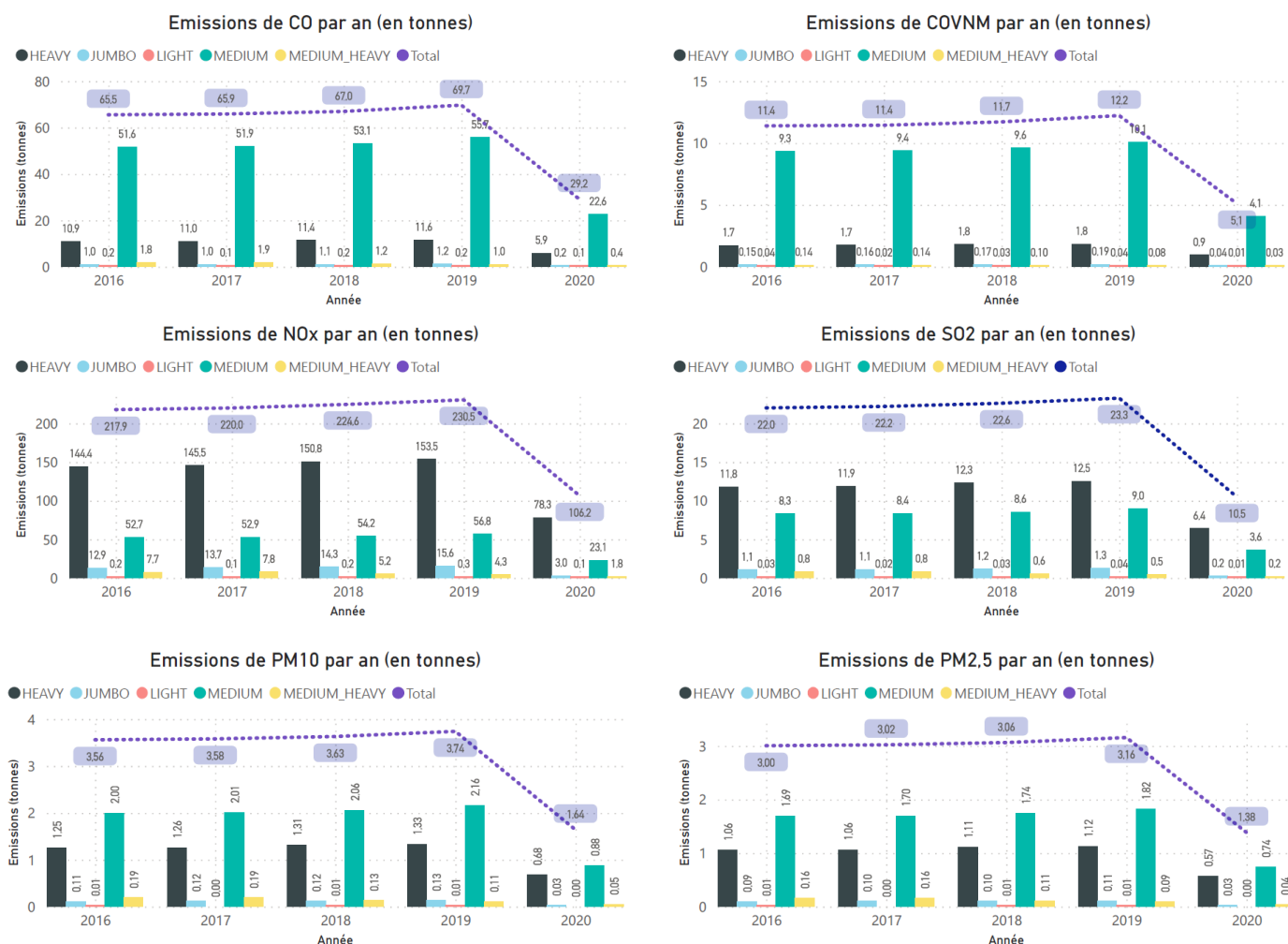


Figure 13 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO_x, COVNM, CO, PM₁₀, PM_{2.5}, et SO₂ (en tonnes) des APU au poste à Paris-Charles de Gaulle

Sur Paris-Charles de Gaulle, la tendance entre 2016 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%.

Enfin, en regardant la contribution relative des différentes catégories avions, en 2020, on observe :

- Pour les NO_x, une contribution majoritaire des avions de type HEAVY (~73%) suivie par la catégorie MEDIUM (~22%) ;
- Pour les COVNM et le CO, une contribution plus marquée est observée pour la catégorie MEDIUM (>77%) suivie par la catégorie HEAVY (entre 17 et 20%) ;
- Pour le SO₂, la contribution entre les deux catégories majoritaires HEAVY et MEDIUM est relativement équilibrée : 60% et 35% respectivement ;
- Pour les particules en suspension (PM₁₀ et PM_{2.5}), la contribution entre les deux catégories majoritaires HEAVY et MEDIUM est relativement équilibrée : 41% et 54% respectivement (pour les PM₁₀).

• Paris-Orly

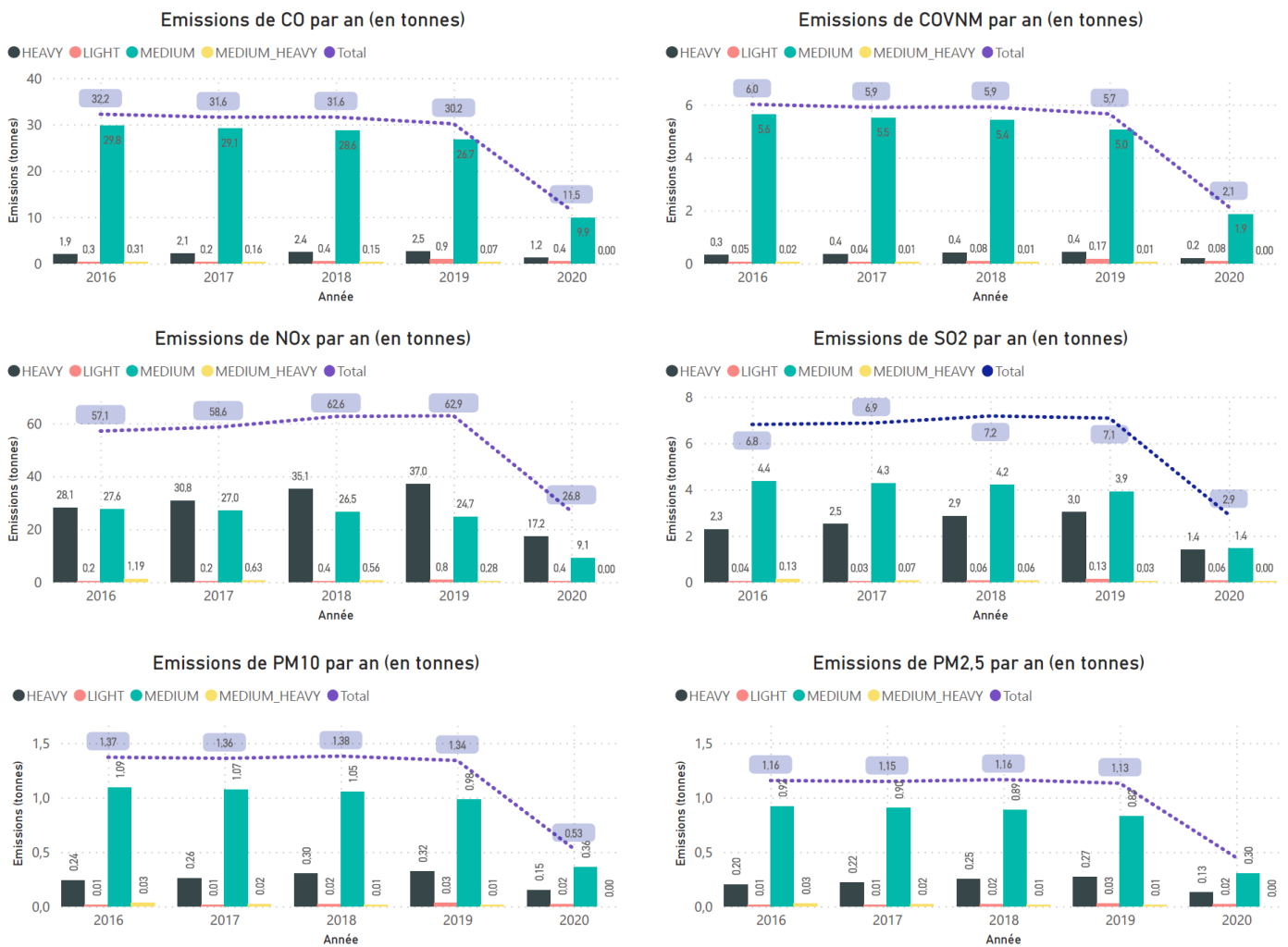


Figure 14 : Evolution pluriannuelle des émissions de NOx, COVNM, CO, PM10, PM2.5, et SO2 (en tonnes) des APU au poste à Paris-Orly

Sur Paris-Orly, la tendance entre 2016 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 porteurs de type HEAVY ;
- Pour les particules en suspension (PM10 et PM2.5), les émissions sont stables sur cette période.

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.

Enfin, en regardant la contribution relative des différentes catégories avions, en 2020, on observe :

- Pour les NOx et SO2, une contribution entre les deux catégories majoritaires HEAVY et MEDIUM relativement équilibrée ;
- Pour les autres polluants (CO, COVNM, PM10 et PM2.5), une contribution majoritaire issue des avions de type MEDIUM – porteur principalement représenté sur cette plateforme.

• Paris-Le Bourget

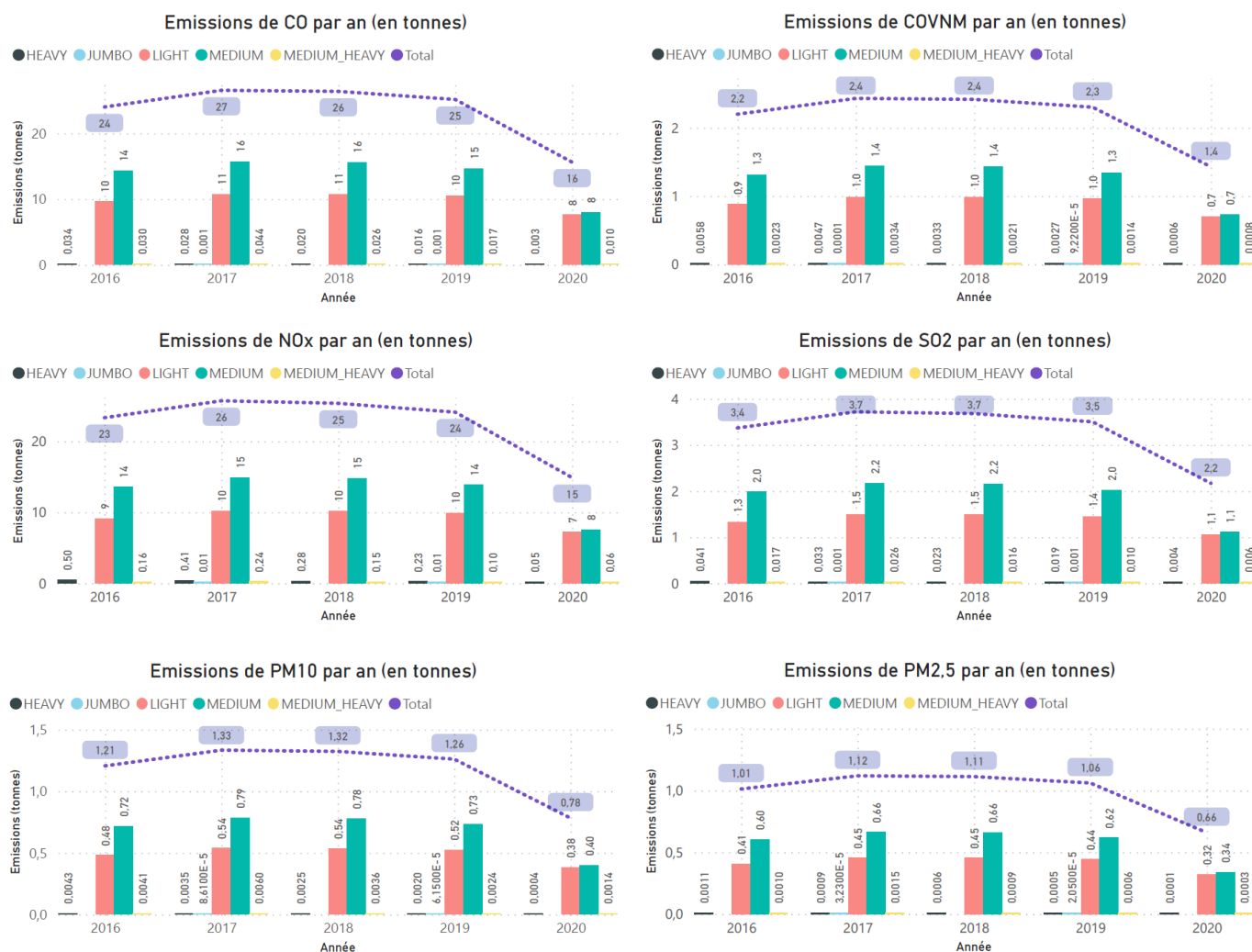


Figure 15 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO_x, COVNM, CO, PM₁₀, PM_{2.5}, et SO₂ (en tonnes) des APU au poste à Paris-Le Bourget

Sur Paris-Le Bourget, la tendance entre 2016 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 augmentation entre 2016 et 2018 puis une légère baisse en 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 d'avions, par rapport aux années précédentes, se traduit par une baisse significative des émissions 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'avions de type LIGHT par rapport aux avions de type MEDIUM.

Partie 4 : Les engins et véhicules spéciaux (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.

a. 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 6 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 6 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des engins spéciaux au poste (**en gras l'approche retenue pour l'inventaire 2020**)

Ressources		Approche simple	Approche avancée	Approche sophistiquée
GSE au poste de stationnement avion	Nombre et type de véhicule	Utilisation des facteurs d'émissions de l'étude menée à Zurich en 2013 ¹⁹ par type avion et par type de poste	Utilisation de facteurs d'émissions de GSE pour différents types avion et types de mouvements en utilisant, après observations et enquêtes, les temps d'utilisation moyen par rotation et les informations de la flotte de GSE propre à la plateforme.	Calcul moyen d'émissions en n'utilisant que des données propres à l'aéroport pour chaque opération (temps, puissance motrice de chaque GSE, facteurs d'émissions actualisé en fonction de l'âge du véhicule).
	Temps d'utilisation			
	Facteurs d'émission			
	Puissance du moteur			

Les émissions des GSE au poste sont calculées pour l'inventaire 2020, selon la méthodologie dite avancée, détaillée dans le document de l'OACI²⁰. 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'émissions 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'émissions de type NOx, CO, COVNM 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 ont été estimées selon la consommation de carburant des GSE.

Cette approche est détaillée en Annexe 11 - 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

¹⁹ Zurich Airport - Aircraft Ground Handling Emissions – Methodology and Emission Factors Zurich Airport. April 2014

²⁰ ICAO, Airport Air Quality Manual, Doc 9889, Second Edition, 2020. Eq. A2-3 page.3-A2-7

Inventaire 2020 des émissions atmosphériques - Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly, Paris-Le Bourget

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

b. Résultats des calculs d'émissions

L'évolution pluriannuelle des émissions déterminées selon la méthodologie précédemment décrite pour Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly est présentée dans la Figure 16 et la Figure 17 respectivement (Les données chiffrées sont compilées en Annexes 12 et 13). 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

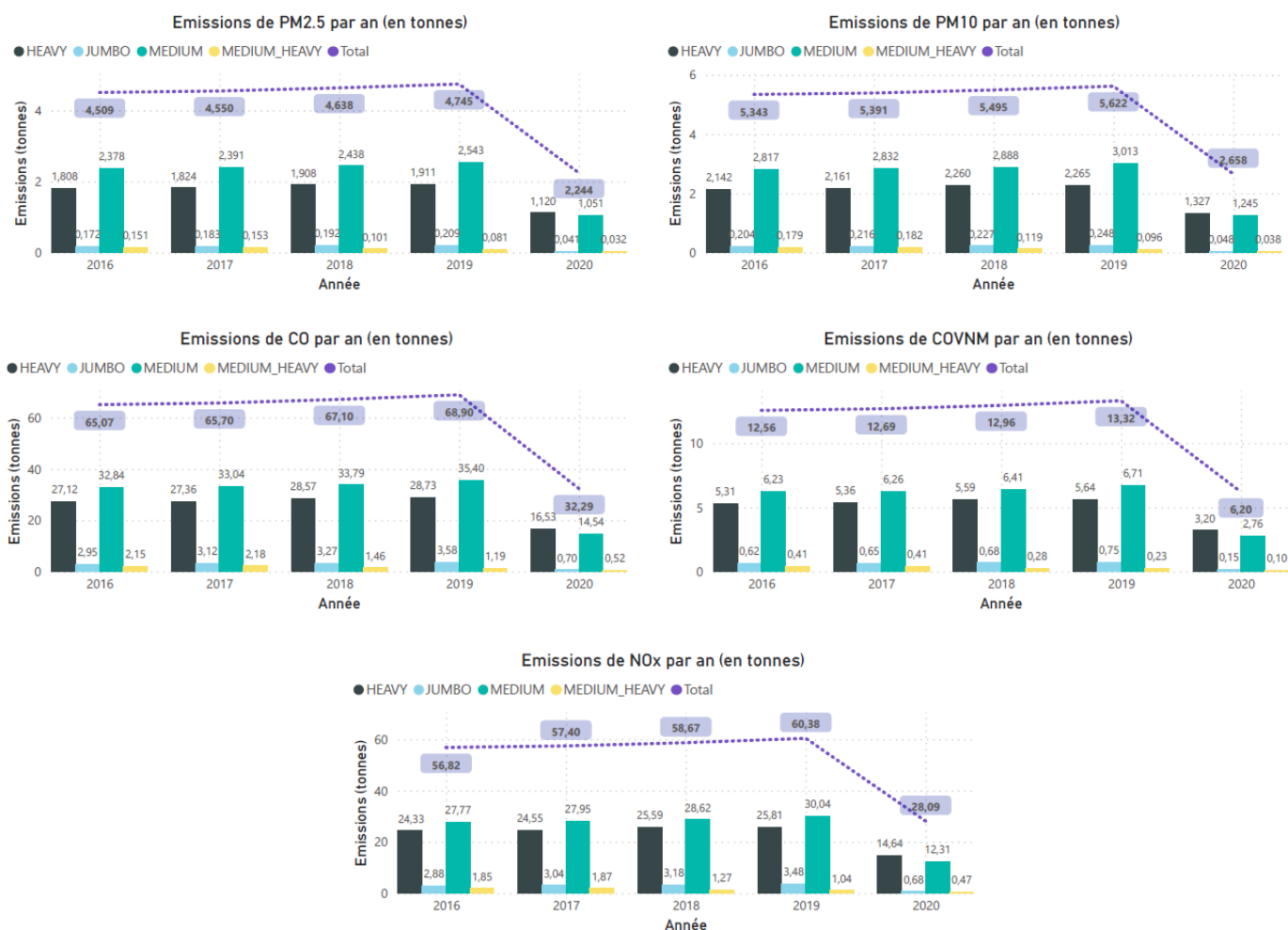


Figure 16 : Evolution pluriannuelle des émissions en tonnes de CO, NOx, COVNM et PM₁₀ / PM_{2.5} avec les facteurs CDG 2018 pour la plateforme de Paris-Charles de Gaulle

Sur la plateforme Paris-Charles de Gaulle, la tendance entre 2016 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.

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, SO₂ et COVNM, PM₁₀ et PM_{2.5}).

• **Paris-Orly**

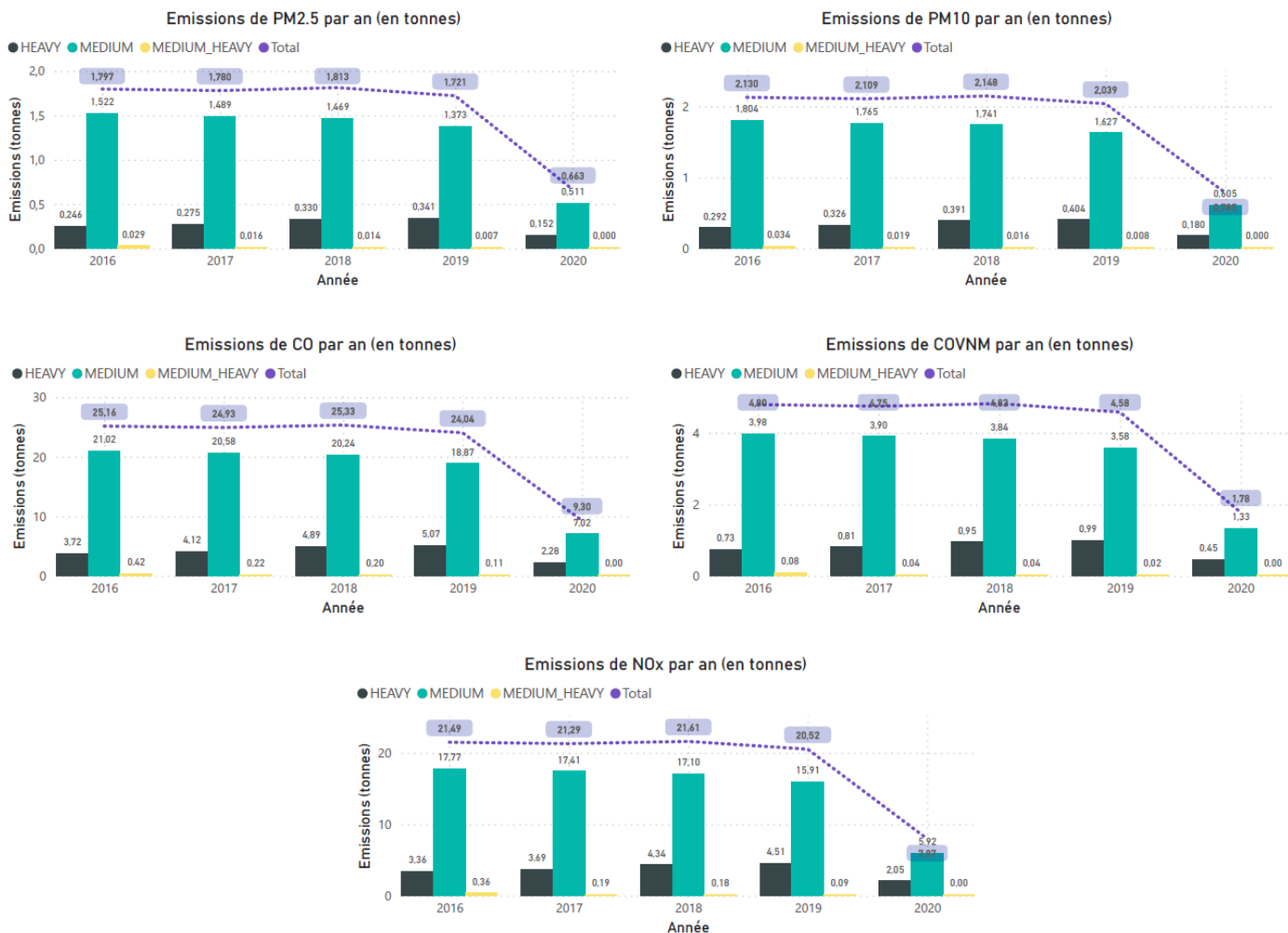


Figure 17 : Evolution pluriannuelle des émissions en tonnes de NO_x, HC, CO et PM₁₀ avec les facteurs CDG 2018 pour la plateforme de Paris-Orly

Sur la plateforme Paris-Orly, la tendance entre 2016 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 observé 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).

Partie 5 : Le trafic routier

Les émissions issues du trafic routier sur le réseau public de proximité des aéroports ainsi qu'en zone réservée sur les plateformes franciliennes ont été prises en compte dans cet inventaire. L'ensemble du trafic routier circulant aux abords des aéroports et dans un périmètre de l'ordre de 10 km sur Paris-Charles de Gaulle (par manque de données, le trafic au niveau de Paris-Le Bourget et au niveau de Paris-Orly n'a pas été calculé dans cet inventaire). Par ailleurs, en zone publique l'ensemble du trafic routier a été considéré comme induit par les activités des aéroports sans distinction. Il s'agit par conséquent d'une approche majorante car sans distinction entre le flux induit par les activités de la plateforme et le flux de circulation générée par les autres activités dans le domaine étudié (transports, trajets domicile-lieu de travail, entreprises voisines, etc.).

a. Trafic routier en zone publique

i) Méthodologie de calcul

Les origines des émissions des polluants automobiles peuvent être multiples. Les sources d'émissions peuvent être catégorisées 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 le type de carburant.
- Les émissions par abrasion. Il s'agit des émissions générées par une action mécanique des parties du véhicules avec la chaussée. L'abrasion est uniquement importante pour les particules (PM₁₀/PM_{2,5}/TSP)²¹.

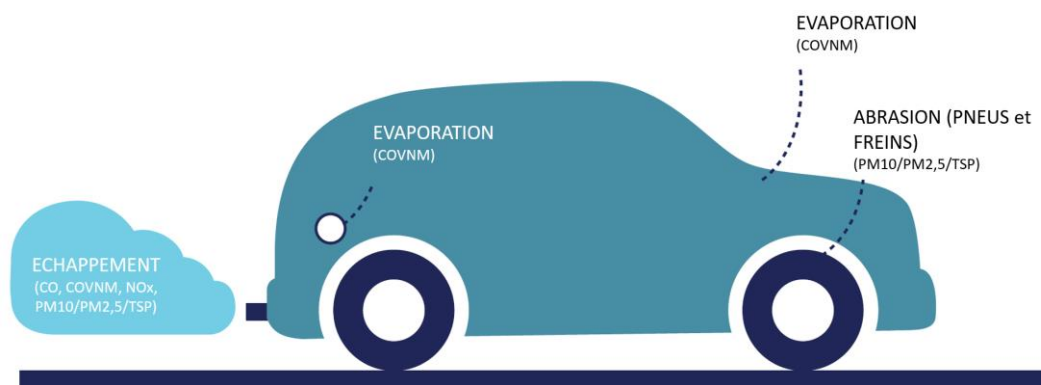


Figure 18: Les différents types de sources d'émissions sur un véhicule thermique routier (schéma adapté du document non technique de l'Agence de l'Environnement Européenne²²)

²¹ 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.

²² Explaining Road transport emissions – A non-technical guide, EEA, 2016.

Le tableau suivant présente les différentes sources d'émissions 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 sa dernière version (5.6.1) publiée en septembre 2022²³. 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.

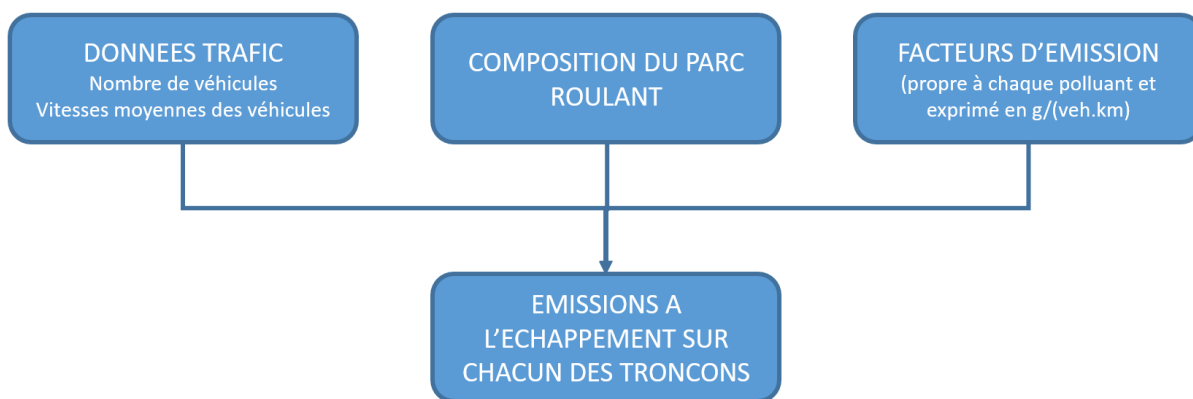


Figure 19: Méthodologie d'estimation des émissions par échappement, évaporation et abrasion

En synthèse, les émissions du trafic routier en zone publique à Paris-Charles de Gaulle sont calculées selon une approche sophistiquée (Cf. Tableau 8). Le détail des hypothèses et des méthodologies utilisées est présenté en Annexe 14.

Tableau 8 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du trafic routier en zone publique (**en gras les approches retenues pour l'inventaire 2020**)

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-IFFSTAR-2022
	Type de flotte (Répartition Véhicule lourd/léger, % électrique, âge moyen du parc)			
	Facteurs d'émissions (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.)

²³ <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 consolider les données de volume de trafic sur une année complète et sur le réseau routier aux abords des plateformes franciliennes.

Le tableau suivant présente les distances parcourues totales ainsi que la vitesse moyenne pondérée par la longueur des tronçons routiers.

Tableau 9: Distances totales et vitesse moyenne sur le réseau Paris-Charles de Gaulle

Paramètre	Paris-Charles de Gaulle
Longueur totale du réseau	272 km
Distance moyenne journalière parcourue	1 325 694 km/jour
Vitesse moyenne pondérée	43 km/h

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 routières²⁴. 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 possédant généralement 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 et pentes des voies de circulation – paramètres intrinsèquement lié au réseau routier (volume et infrastructures) mais directement lié au fonctionnement d'un moteur d'un véhicule spécifique.

²⁴ Guide méthodologique sur le volet "air et santé" des études d'impact routières – CEREMA – 2019 (REF 978-2-37180-396-1)

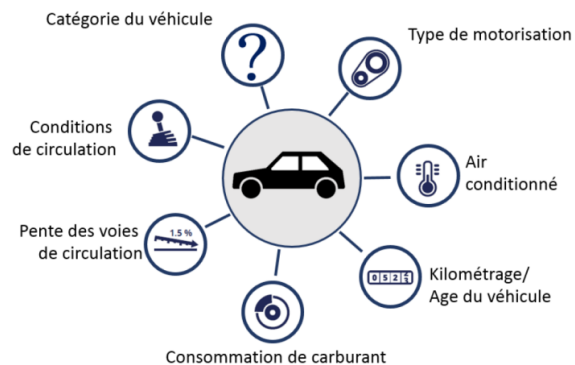


Figure 20: caractérisation d'un véhicule dans un parc roulant

La composition du parc roulant utilisé dans cet inventaire est le parc nommé dans la suite du document : UGE-IFSTTAR-2020, pour l'année 2020, qui découle des travaux menés par l'Université Gustave Eiffel (ex-IFSTTAR) pour caractériser le parc Français actuel jusqu'à l'horizon 2050^{25,26}, dans sa dernière version mise à jour²⁷. 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)²⁸ ;
- 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 inventaire²⁹).

De façon agrégée, la figure suivante présente la répartition des véhicules par type et par énergie du parc UGE-IFSTTAR-2020. Les résultats montrent que les VL sont les plus représentés (~75%) suivie par les VUL (~14%), les 2R (~9%) et enfin les PL (~3%). A l'inverse, les PL sont les véhicules les plus roulants, réalisant environ 62% du nombre total de kilomètres parcourus sur l'année 2020 par l'ensemble des véhicules constituant le parc roulant. Enfin, sur les énergies utilisées, la répartition est dominée par les véhicules essence (38%) et diesel (59%). Dans une moindre mesure, les véhicules hybrides essence occupent environ 2% du parc.

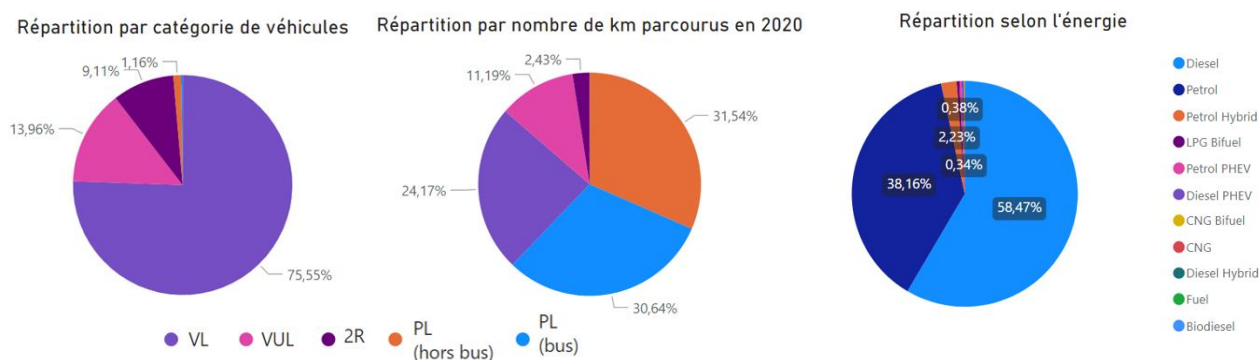


Figure 21: Parc UGE-IFSTTAR 2020, répartition par catégorie de véhicules, par nombre de kilomètres parcourus par an et par énergie

A noter que, dans la suite de ce document, la catégorie VUL a été agrégée à la catégorie VL. Cette dernière intègre donc les VL et les VUL.

²⁵ André M., Allemand A., Roux C. Lekhal F., Hivert L. Boutueuil V. (2019) : Connaissance et prospective des parcs automobiles. IFSTTAR, Bron, France, Rapport Ifsttar, 74 p. Travaux réalisés pour la DGITM.

²⁶ 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.

²⁷ Note communiquée au Laboratoire du Groupe ADP par Michel André en date du 11/04/2022

²⁸ <https://www.hbefa.net/e/index.html>

²⁹ Même si les véhicules non thermiques sont une source des émissions particulières par abrasion, puisque la méthodologie COPERT V n'intègre pas ce type de véhicules, leur émissions associées n'ont pas été considérées.

iv) Les facteurs d'émission

Les facteurs d'émissions pour le trafic routier correspondent à la quantité de polluants rejetées par un véhicule et sur une distance donnée. Pour les émissions par échappement, par évaporation et par abrasion (freins et pneus), les facteurs d'émissions 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'émissions utilisés dans cet inventaire sont ceux recommandés par l'Agence Européenne de l'Environnement et intégrés 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'émissions des polluants³⁰. Pour cela, un exemple sur les facteurs d'émissions 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'émissions 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'émissions. Les facteurs d'émissions 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'émissions 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 90 km/h. 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'émissions qui augmentent de façon linéaire avec la vitesse.

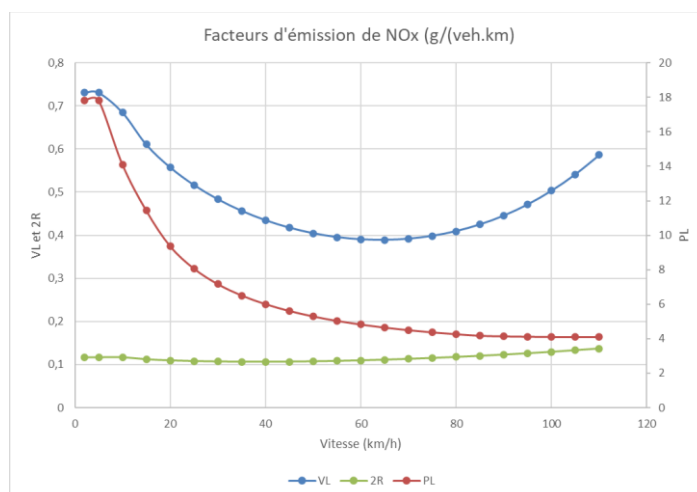


Figure 22: Facteurs d'émissions en fonction de la vitesse pour les NOx sur la base des facteurs COPERT V et du parc UGE-IFFSTAR-2020.

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

³⁰ 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)³¹.

Tableau 10 : 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'émissions 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 6 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 11 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du trafic routier en zone publique (**en gras les approches retenues pour l'inventaire 2020**)

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'émissions (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.)

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

³¹ EMEP / EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - section 1.A.3.b (mise à jour en octobre 2021).

véhicules, le calcul des émissions liées à l'abrasion (freins, pneus) n'a pas 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 15.

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 2020. Elles sont donc identiques à celles utilisées pour le calcul des émissions dans les inventaires précédents de 2017 à 2019.

c. Résultat des calculs d'émissions en zones publique et réservée

Les émissions calculées pour le trafic routier en zone publique sont présentées par polluant et par catégorie de véhicules sur la figure suivante (les totaux par polluant sont reportés dans le tableau suivant). Le détail chiffré des émissions calculées est reporté en Annexe 16.

Cette figure montre, quel que soit le polluant, que la contribution des VL est la plus importante résultant du nombre beaucoup élevé de ce type de véhicules en circulation autour de la plateforme aéroportuaire.

On peut observer deux situations remarquables:

- une contribution importante de la catégorie PL sur le polluant NOx (146 tonnes contre 171 tonnes pour les VL) traduisant un parc de véhicule vieillissant et des normes de pollution moins contraignantes pour cette catégorie de véhicule ;
- 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 PM, et de l'autre, des moteurs exclusivement essence pour les 2R dont les facteurs d'émissions unitaires sont plus important pour les COVNM et le CO.

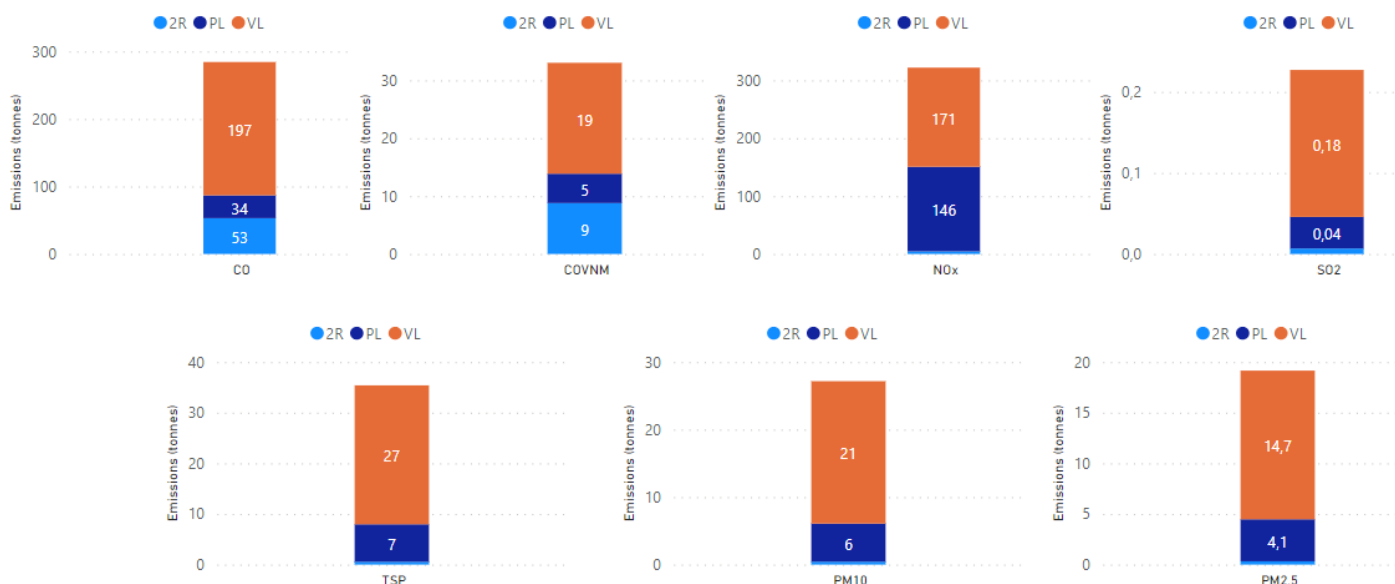


Figure 23: Emissions totales sur l'année 2020 issues du trafic routier en zone publique, par polluant et par catégorie de véhicule.

Dans le tableau ci-dessous, sont compilées 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, le trafic en zone publique est majoritaire et résulte d'un nombre de véhicules largement supérieurs à celui en zone réservée.

Tableau 12 : Emissions totales par polluant issues du trafic routier

Source	Emissions totales par polluant (en tonnes)						
	NOx	CO	COVNM	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2,5}
Routier zone publique	321,92	284,26	33,03	0,23	35,39	27,16	19,15
Routier zone réservée	2,39	1,89	0,19	<0,01	0,09	<0,01	<0,01
Total routier	324,31	286,15	33,22	0,23	35,48	27,16	19,15

Partie 6 : 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'émissions 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 2022 du CITEPA³². Depuis ce guide, seuls les facteurs d'émissions 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 transmises par la SNCF et concernent le nombre de passages par an du RER et du TGV. Les données relatives au nombre de passages du CDGVAL sont issues du Groupe ADP.

A noter qu'au cours de l'année 2020, les restrictions liées à l'épidémie de Covid-19 ont fortement perturbé la circulation des trains. Les données officielles concernant les trains TGV et RER n'ont pas été, à date de rédaction de cet inventaire, collectées par le Groupe ADP. Néanmoins, des hypothèses de trafic réduit ont été considérées selon des échanges avec le personnel de la SNCF proposant une réduction de l'ordre de 50% du trafic TGV et de 70% du trafic RER en 2020 par rapport à l'année 2019.

La méthodologie et les facteurs d'émissions utilisés pour réaliser le calcul des émissions sont présentés en Annexe 17.

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 13.

Tableau 13: 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 2020

Ligne ferroviaire	TSP (tonnes/an)	PM10 (tonnes/an)	PM2,5 (tonnes/an)
RER	4,65	1,71	0,66
TGV	0,76	0,28	0,03
CDGVAL	0,10	0,07	0,04
Total	5,51	2,06	0,73

³² Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France, OMINEA – 19^e édition – Mars 2022

Partie 7 : Les centrales thermiques (CTFE et CTP)

Les centrales thermo frigo électrique (CTFE et CTP) 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 qui comptabilisent au total 10 cheminées (combustion gaz et biomasse essentiellement), sur Paris-Orly, 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 14)

Tableau 14 Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des CTFE (**en gras les approches retenues pour l'inventaire 2020**)

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 2020, 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 15. L'évolution pluriannuelle des émissions par plateforme est présentée dans les Figure 24 et Figure 25.

Tableau 15: Emissions des polluants des centrales thermiques mesurées en continu pour l'année 2020 en tonnes

Plateforme	NO _x	CO	SO ₂	TSP
Paris-Charles de Gaulle	17,1	0,8	0,4	0,1
Paris-Orly	2,28	0,12	<0,1	<0,1

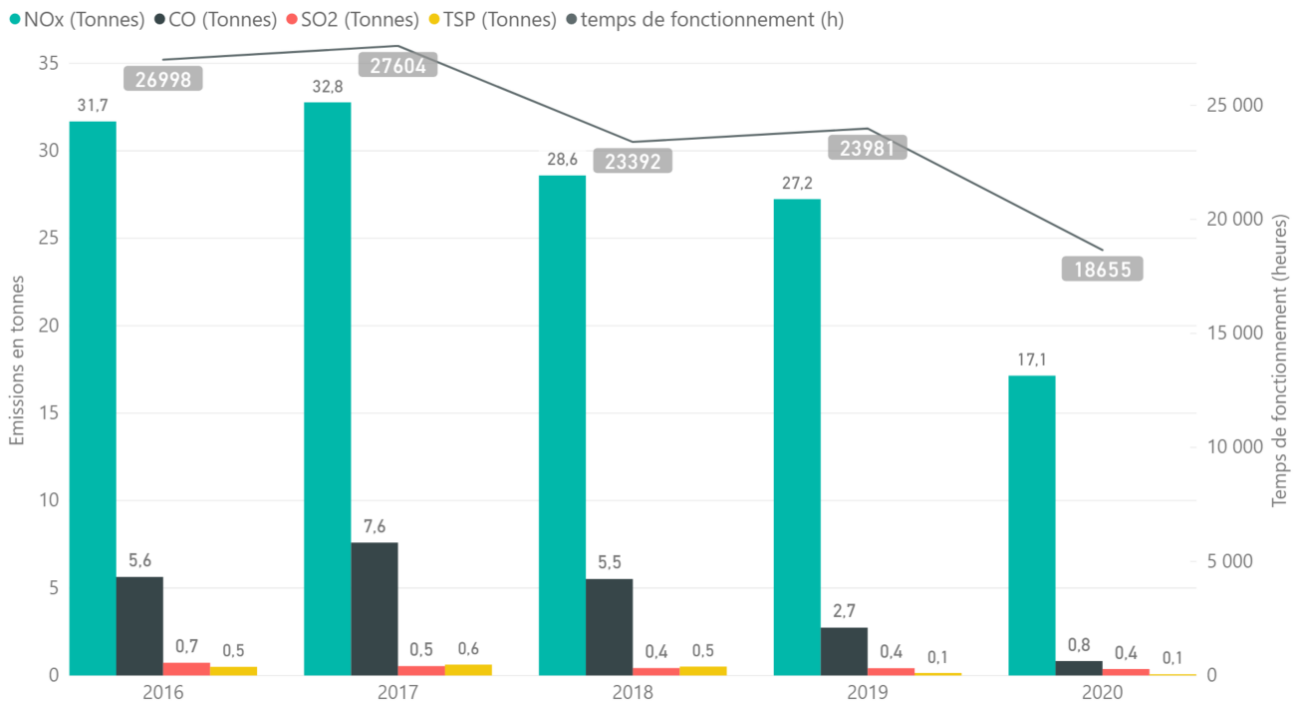


Figure 24 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO_x, CO, TSP et SO₂ et temps de fonctionnement des CTFE de Paris-Charles de Gaulle³³

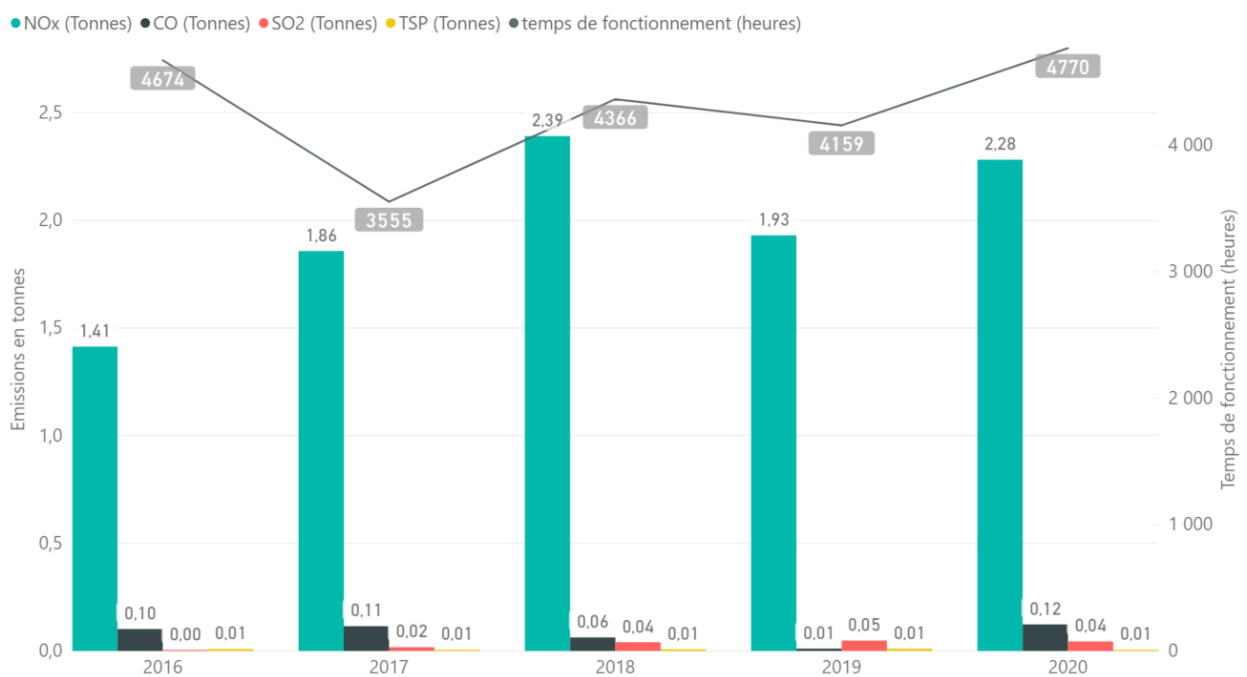


Figure 25 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO_x, CO, TSP et SO₂ et des temps de fonctionnement des CTFE de Paris-Orly

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.

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).

³³ 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)

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 2019 malgré la fermeture partielle de la plateforme.

Partie 8 : Etudes et réflexions engagées par source

Les émissions présentées dans ce rapport, ont été calculées à partir des méthodologies disponibles dans 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.

1. Trafic routier en zone publique

- Volume de trafic et réseau routier
Les données de comptage seront disponibles sur Paris-Orly à partir de l'inventaire 2021. 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 2023.
- Composition du parc roulant
Une étude des données de comptage en temps réel de Paris-Charles de Gaulle est planifiée. Ces données croisées avec les données d'un parc de véhicules spécifique aux plateformes aéroportuaires (typologie de véhicules sensiblement différente de la composition moyenne du parc français) permettront d'évaluer l'impact de ce parc sur les émissions résultantes (étude de sensibilité). Données consolidées en vue de l'inventaire 2023.
- Emissions
Un travail de collecte des véhicules parkés sur chaque plateforme pour évaluer les émissions dites à froid des COVNM sur les véhicules (de type essence) à l'arrêt. Le démarrage de la collecte d'information est prévu pour 2024.
Les émissions par abrasion des équipements routiers (et remise en suspension des particules) seront ajoutées dans l'inventaire 2021.

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. Campagne prévue en 2023.
- Une mise-à-jour des consommations de carburant par plateforme est en cours. Données consolidées en vue de l'inventaire 2022.

3. Essais moteur

- Pour Paris-Charles de Gaulle, une collecte d'informations et une étude des données de consommations est en cours. Ces données de consommations permettront d'estimer la contribution de cette source sur les émissions globales de la plateforme. En complément, des données de cycles de test sur les moteurs sont nécessaires pour caractériser les émissions spécifiques des moteurs. Données consolidées en vue de l'inventaire 2021.

4. 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 2023.
- 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. Cette étude de sensibilité est prévue en 2023.
- 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 pour l'année 2022. Les premiers résultats sont attendus pour 2023 avec en ligne de mire un affinage des temps d'utilisation APU à partir de l'inventaire 2022.

5. 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 2024.

- Une étude de sensibilité concernant l'impact de la hauteur de couche limite réelle sur l'inventaire des émissions est planifiée pour 2023 - 2024 et comparé aux résultats des années 2000 réalisés par Airparif et rapportés dans le guide méthodologique du PCIT³⁴.
- 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 2023. 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.

6. GSE

- Les études menées sur cette source devront être poursuivies notamment pour la détermination de facteurs d'émissions en lien avec les activités spécifiques des plateformes (Paris-Orly, Paris-Le Bourget, cas spécifique du cargo, etc.). Une campagne spécifique est prévue en 2023.
- Des études spécifiques sur les émissions des GSE au roulage en zone réservée devront être menées (non planifiées).

7. Stockage et distribution de carburants

- La collecte d'information des données d'entrée ne démarrera qu'entre 2023 et 2024 pour une intégration dans l'inventaire 2022 ou 2023 selon la date des données collectées.

³⁴ 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)

Annexes

Annexe 1 : Liste des avions par type de porteur et par classe OACI sur les trois plateformes aéroportuaires	51
Annexe 2 : Synthèse des méthodes de calcul et des données d'entrée par plateforme et par secteur d'activité	52
Annexe 3 : Méthodologie de calcul des émissions sur le cycle LTO	54
Annexe 4 : Tableau des résultats des émissions pour le cycle LTO – Paris-Charles de Gaulle	57
Annexe 5 : Tableau des résultats des émissions pour le cycle LTO – Paris-Orly	58
Annexe 6 : Tableau des résultats des émissions pour le cycle LTO – Paris-Le Bourget	59
Annexe 7 : Méthodologie de calcul des émissions APU	60
Annexe 8 : Tableau des résultats des émissions APU – Paris-Charles de Gaulle	62
Annexe 9 : Tableau des résultats des émissions APU – Paris-Orly	63
Annexe 10 : Tableau des résultats des émissions APU – Paris-Le Bourget	64
Annexe 11 : Méthodologie de calcul des émissions GSE dont GPU	65
Annexe 12 : Tableau des résultats des émissions GSE – Paris-Charles de Gaulle	69
Annexe 13 : Tableau des résultats des émissions GSE – Paris-Orly	70
Annexe 14 : Méthodologie de calcul des émissions du trafic routier en zone publique	71
Annexe 15 : Méthodologie de calcul des émissions du trafic routier en zone réservée	85
Annexe 16 : Tableau des résultats des émissions du trafic routier en zone publique – Paris-Charles de Gaulle	87
Annexe 17 : Méthodologie de calcul des émissions liées au trafic ferroviaire	88

Annexe 1 : 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
A124	HEAVY	F	B733	MEDIUM	C2	CL60	MEDIUM	B	RJ85	MEDIUM_HEAVY	C1
A20N	MEDIUM	C2	B734	MEDIUM	C2	CR12	MEDIUM	C1	SB20	MEDIUM	C1
A21N	MEDIUM	C2	B735	MEDIUM	C2	CR17	MEDIUM	C1	SF34	MEDIUM	B
A306	HEAVY	D	B736	MEDIUM	C2	CR19	MEDIUM	C1	SU95	MEDIUM	N/D
A30B	HEAVY	D	B737	MEDIUM	C2	CR1X	MEDIUM	C1			
A310	HEAVY	D	B738	MEDIUM	C2	D328	MEDIUM	B			
A318	MEDIUM	C2	B739	MEDIUM	C2	DH8B	MEDIUM	C			
A319	MEDIUM	C2	B742	HEAVY	E	DH8D	MEDIUM	C1			
A320	MEDIUM	C2	B744	HEAVY	E	E120	MEDIUM	B			
A321	MEDIUM	C2	B748	HEAVY	E	E135	MEDIUM	B			
A332	HEAVY	E	B74R	HEAVY	E	E145	LIGHT	B			
A333	HEAVY	E	B752	MEDIUM_HEAVY	D	E170	MEDIUM	C1			
A339	HEAVY	E	B753	MEDIUM_HEAVY	D	E190	MEDIUM	C1			
A342	HEAVY	E	B762	HEAVY	D	E195	MEDIUM	C1			
A343	HEAVY	E	B763	HEAVY	D	E500	LIGHT	N/D			
A345	HEAVY	E	B764	HEAVY	D	E50P	LIGHT	N/D			
A346	HEAVY	E	B772	HEAVY	E	F100	MEDIUM	C1			
A359	HEAVY	E	B773	HEAVY	E	F2TH	MEDIUM	B			
A35K	HEAVY	E	B77L	HEAVY	E	F50	MEDIUM	N/D			
A388	JUMBO	F	B77W	HEAVY	E	FA20	LIGHT	B			
AN26	MEDIUM	N/D	B788	HEAVY	E	GALX	MEDIUM	B			
AT42	MEDIUM	C1	B789	HEAVY	E	GLEX	MEDIUM	N/D			
AT44	MEDIUM	C1	B78X	HEAVY	E	GLF5	MEDIUM	B			
AT45	MEDIUM	C1	BCS1	MEDIUM	C2	GLF6	LIGHT	B			
AT72	MEDIUM	C1	BCS3	MEDIUM	C2	IL76	HEAVY	N/D			
ATP	MEDIUM	C1	BE58	LIGHT	B	JS41	MEDIUM	N/D			
B190	MEDIUM	B	C130	MEDIUM_HEAVY	N/D	LJ40	LIGHT	N/D			
B38M	MEDIUM	C2	C525	LIGHT	B	MD11	HEAVY	D			
B462	MEDIUM_HEAVY	C1	C550	LIGHT	B	MD82	MEDIUM	C2			
B463	MEDIUM_HEAVY	C1	C56X	MEDIUM	B	MD83	MEDIUM	C2			
B712	MEDIUM	C2	C680	MEDIUM	B	MD87	MEDIUM	C2			
B732	MEDIUM	C2	CL30	MEDIUM	N/D	RJ1H	MEDIUM_HEAVY	C1			

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
	15 - APU	<ul style="list-style-type: none"> • Facteurs d'émissions EDMS/IATA par type moteur APU • Temps d'utilisation moyen de la plateforme (étude ACNUSA)
	16 - GSE	<ul style="list-style-type: none"> • Temps d'utilisation moyen de la plateforme • Facteurs d'émissions déterminés à partir d'une méthode de calcul de l'OACI propre à la flotte de Paris-Charles de Gaulle
	17 - LTO Abrasion	<ul style="list-style-type: none"> • Facteurs d'émissions CITEPA (contact sol des aéronefs)
	20 – CTFE / CTP	<ul style="list-style-type: none"> • Mesure de données minutes
	30 - FERROVIAIRE	<ul style="list-style-type: none"> • Facteurs d'émissions CITEPA (freinage)
	40 – ROUTIER (Zone Publique)	<ul style="list-style-type: none"> • Facteurs d'émissions COPERT V (combustion et abrasion) • Données de circulation basées sur les comptages opérés par le groupe ADP • Parc roulant Français de l'université Gustave Eiffel (ex-IFSTTAR)
	40 – ROUTIER (Zone Réservée)	<ul style="list-style-type: none"> • Emissions estimées à partir des données de consommation des compagnies d'assistant en escale
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
	15 - APU	<ul style="list-style-type: none"> • Facteurs d'émissions par catégorie avion • Temps d'utilisation moyen de la plateforme (étude ACNUSA)
	16 - GSE	<ul style="list-style-type: none"> • Temps d'utilisation moyen de la plateforme • Facteurs d'émissions déterminés à partir d'une méthode de calcul de l'OACI propre à la flotte de Paris-Charles de Gaulle
	17 - LTO Abrasion	<ul style="list-style-type: none"> • Facteurs d'émissions CITEPA (contact sol des aéronefs)
	20 – CTFE / CTP	<ul style="list-style-type: none"> • Mesure de données minutes
	30 - FERROVIAIRE	Non calculé
	40 – ROUTIER (Zone Publique)	Non calculé
	40 – ROUTIER (Zone Réservée)	Non calculé

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'émissions 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))
	15 - APU	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs d'émissions par catégorie avion Temps d'utilisation moyen de la plateforme (étude ACNUSA)
	16 - GSE	Non calculé
	17 - LTO Abrasion	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs d'émissions CITEPA (contact sol des aéronefs)
	20 – CTFE / CTP	Non calculé
	30 - FERROVIAIRE	Non calculé
	40 – ROUTIER (Zone Publique)	Non calculé
	40 – ROUTIER (Zone Réservee)	Non calculé

Annexe 3 : 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, 2020³⁵) 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 OACI³⁶. (Cf. Table 3-A1-2)</p> $E_{ij} = \sum (TIM_{jk} * 60) * (FF_{jk}) * (E_{ijk}) * (N_{ej})$ <p>E_{ijk} (g/LTO) = Total des émissions de polluants "i" produit par un type avion "j" en un cycle LTO. E_{ijk} (g/kg de carburant) = facteur d'émissions 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" TIM_{jk} (min) = Temps de fonctionnement des moteurs pour chaque phase du cycle LTO "k" pour chaque moteur de l'avion N_{ej} = Nombre de moteur pour un type avion "j" FF_{jk} (kg/s) = Consommation de carburants pour chaque phase du cycle LTO "k", en pour chaque des moteurs utilisés par un type avion "j".</p>
		<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
Temps de chaque phase LTO	Approche, Décollage et montée	
	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 ≈61% 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. Si toujours pas de correspondance (à ce stade ≈99% avec correspondance dans nos bases de données) l'attribution est réalisée en affectant : 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.

³⁵ https://www.icao.int/publications/Documents/9889_cons_en.pdf

³⁶ Document 9889 OACI p.3-A1-13

Paramètres		Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du cycle LTO
		Si au terme de ce processus aucune correspondance n'est déterminée, les vols ne sont pas pris en compte dans nos calculs d'émissions.
Facteurs d'émissions issus de la combustion	NO _x , COVNM, CO et SO ₂	<p>Les facteurs d'émissions NO_x, HC, CO sont déterminés par type moteur à partir de EEDB de l'OACI³</p> <p>Le facteur SO₂ est déterminés selon la DGAC³⁷ 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'émissions des PM sont déterminés selon trois méthodes :</p> <ol style="list-style-type: none"> Le facteur d'émissions est déterminé en fonction de la consommation de carburant de chaque phase du cycle LTO (gramme de polluant émis par Gigajoule consommé³⁸) selon la méthodologie du CITEPA 2022 dans le rapport "Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France- 19ème édition" (OMINEA³⁹ 2022 Chapitre Transport Aérien p.257) : <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'émissions 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 la méthodologie du CITEPA 2022 dans le rapport OMINEA 19ème édition⁴⁰ (Chapitre Transport Aérien p.257) : <ul style="list-style-type: none"> TSP = PM₁₀ = 500 g/t PM_{2.5} = 422 g/t Le facteur d'émissions est déterminé selon la méthodologie FOA 3.0 de l'OACI⁴¹ via le Smoke Number (SN). Cette approche méthodologique est préconisée par l'OACI pour estimer les émissions particulaires 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="background-color: #0056b3; color: white; padding: 5px; text-align: center; margin: 10px 0;"> PM_{total} = PM_{vol-fuelOrganics} + PM_{vol-FSC} + PM_{nv} </div> <p>PM_{vol-FSC} = (10)⁶ . $\left[\frac{(FSC)(\epsilon)(MW_{out})}{(MW_{Sulphur})} \right]$ = 49 mg/kg de fuel</p> <ul style="list-style-type: none"> PM_{nv} = (CI).(Q) mg/kg de fuel 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>Facteurs constants :</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>

³⁷ https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/calcul_emis_aero.pdf Page 21

³⁸ <https://www.citepa.org/fr/>

³⁹ **1kg de kérozène = 0.0435 GJ =>** <https://fr.wikipedia.org/wiki/K%C3%A9ros%C3%A8ne>

⁴⁰ https://www.citepa.org/wp-content/uploads/Citepa_Ominea_ed2020.pdf, p.261

⁴¹ [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'émissions 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'émissions 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'émissions 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'émissions du rapport du CITEPA (Guide OMINEA⁴ § 1A3a_aviation p.257) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • TSP = 381 g/LTO • PM₁₀ = 190 g/LTO • PM_{2.5} = 111 g/LTO 																					

Annexe 4 : 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)
2016	33,45	1311,62	2232,58	12,43	129,02	3719,10
2017	33,50	1281,06	2127,99	12,53	129,37	3584,45
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
Emissions COVNM (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	4,82	150,36	255,06	1,87	9,98	422,09
2017	4,86	147,75	244,02	1,86	9,95	408,45
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
Emissions NOx (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	2171,56	206,05	353,45	1129,28	577,70	4438,04
2017	2187,46	201,39	337,76	1142,14	584,48	4453,22
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
Emissions SO2 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	84,09	44,47	75,86	33,00	50,66	288,08
2017	84,96	43,52	72,52	33,34	51,14	285,49
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
Emissions PM10 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	7,66	3,70	6,30	3,23	3,86	24,75
2017	7,61	3,61	6,01	3,21	3,85	24,29
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
Emissions PM2,5 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	6,46	3,12	5,32	2,72	3,26	20,89
2017	6,42	3,05	5,07	2,71	3,25	20,50
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
Emissions par abrasion (tonnes)						
Année	TSP	PM2,5	PM10			
2016	90,10	26,25	44,93			
2017	90,61	26,40	45,19			
2018	91,62	26,69	45,69			
2019	94,90	27,65	47,33			
2020	40,44	11,78	20,17			

Annexe 5 : Tableau des résultats des émissions pour le cycle LTO – Paris-Orly

Emissions CO (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	13,13	263,85	462,37	4,97	51,29	795,61
2017	13,27	261,65	458,73	5,03	50,60	789,27
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
Emissions COVNM (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	1,99	23,83	41,04	0,73	3,21	70,79
2017	1,97	23,14	39,86	0,72	3,16	68,84
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
Emissions NOx (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	604,70	45,72	79,53	300,47	180,48	1210,89
2017	620,96	45,70	79,42	311,25	181,59	1238,93
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
Emissions SO2 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	29,36	10,19	17,71	11,43	18,07	86,75
2017	29,49	10,18	17,66	11,50	18,11	86,94
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
Emissions PM10 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	2,92	0,81	1,41	1,21	1,43	7,77
2017	2,97	0,80	1,39	1,20	1,52	7,88
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
Emissions PM2,5 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	2,46	0,68	1,19	1,02	1,20	6,55
2017	2,51	0,68	1,17	1,02	1,28	6,65
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
Emissions par abrasion (tonnes)						
Année	TSP	PM2,5	PM10			
2016	44,66	22,27	13,01			
2017	43,63	21,76	12,71			
2018	43,63	21,76	12,71			
2019	41,60	20,74	12,12			
2020	15,82	7,89	4,61			

Annexe 6 : 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)
2016	2,56	27,56	27,31	0,77	11,73	69,93
2017	2,65	28,57	28,35	0,81	12,05	72,43
2018	2,75	29,40	29,17	0,83	12,25	74,41
2019	2,60	28,31	28,04	0,79	11,76	71,50
2020	1,55	16,37	16,16	0,45	7,19	41,73
Emissions COVNM (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	0,21	7,33	7,32	0,06	1,55	16,48
2017	0,21	7,41	7,39	0,06	1,56	16,63
2018	0,21	7,64	7,65	0,06	1,63	17,18
2019	0,19	7,29	7,27	0,05	1,52	16,33
2020	0,12	4,83	4,79	0,03	1,00	10,77
Emissions NOx (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	26,95	2,30	2,27	12,54	9,13	53,20
2017	27,96	2,44	2,42	13,04	9,62	55,49
2018	28,47	2,54	2,51	13,25	9,90	56,66
2019	27,31	2,42	2,39	12,74	9,45	54,31
2020	13,16	1,24	1,22	6,05	4,75	26,42
Emissions SO2 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	1,72	0,65	0,64	0,66	1,21	4,88
2017	1,81	0,68	0,67	0,70	1,27	5,13
2018	1,87	0,70	0,69	0,72	1,31	5,29
2019	1,78	0,67	0,66	0,68	1,25	5,04
2020	0,89	0,35	0,35	0,34	0,64	2,58
Emissions PM10 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	0,30	0,09	0,09	0,12	0,18	0,78
2017	0,32	0,09	0,09	0,13	0,18	0,81
2018	0,33	0,10	0,10	0,13	0,18	0,84
2019	0,31	0,09	0,09	0,13	0,17	0,79
2020	0,14	0,05	0,05	0,06	0,10	0,41
Emissions PM2,5 (tonnes)						
Année	Montée	Roulage (arrivée)	Roulage (départ)	Décollage	Approche	Total (LTO)
2016	0,25	0,08	0,08	0,10	0,15	0,66
2017	0,27	0,08	0,08	0,11	0,15	0,68
2018	0,27	0,08	0,08	0,11	0,15	0,70
2019	0,26	0,08	0,08	0,11	0,15	0,67
2020	0,12	0,05	0,05	0,05	0,08	0,34
Emissions par abrasion (tonnes)						
Année	TSP	PM2,5	PM10			
2016	9,97	2,91	4,97			
2017	11,09	3,23	5,53			
2018	10,91	3,18	5,44			
2019	10,41	3,03	5,19			
2020	6,46	1,88	3,22			

Annexe 7 : Méthodologie de calcul des émissions APU

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions APU																							
Méthodologie de calcul	<p><u>Méthodologie OACI Calcul d'émissions APU : Approche avancée</u></p> <p>Pour calculer les émissions sur les trois plateformes, la méthodologie de l'OACI, approche avancée, détaillée dans son document cadre a été utilisée⁴².</p> <p>Les émissions APU sont estimées à partir du couple aéronef/APU et du temps d'utilisation de l'APU, en assignant un facteur d'émissions unitaires (EI) pour chaque type d'APU 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 ACNUSA⁴³. 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 2012⁴⁴.</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>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>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>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>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'émissions associé. Ainsi, le mode "Normal Running" selon la formule suivante :</p> $T_{\text{Normal running}} = T_{\text{ACNUSA}} - (T_{\text{Start-Up}} + T_{\text{High-Load}})$	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)																				

⁴² ICAO, Doc 9889 – airport Air Quality Manual – Second Edition, 2020. Appendix 1 to Chapter 3. 3-A1-26

⁴³ ACNUSA, Les groupes auxiliaires de puissance (APU) : Temps d'utilisation et réglementation – 9 septembre 2020

⁴⁴ 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 2020 des émissions atmosphériques - Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly, Paris-Le Bourget

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions APU																																																																																									
	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.																																																																																									
Facteurs d'émission	Les facteurs d'émissions 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'émissions associés aux avions récents. Le tableau ci-dessous compile les facteurs d'émissions retenus en y ajoutant la consommation de carburant – nécessaire au calcul des émissions de SO ₂ .																																																																																									
	<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 2015⁴⁵. 																																																																																									

⁴⁵ https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/calc_emis_aero.pdf Page 21

Annexe 8 : Tableau des résultats des émissions APU – Paris-Charles de Gaulle

Emissions CO (tonnes)							
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)	
2016	0,21	51,64	1,83	10,87	0,97	65,52	
2017	0,13	51,90	1,85	10,95	1,03	65,86	
2018	0,19	53,12	1,24	11,35	1,07	66,97	
2019	0,24	55,70	1,02	11,55	1,17	69,68	
2020	0,05	22,60	0,44	5,88	0,23	29,20	
Emissions COVNM (tonnes)							
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)	
2016	0,04	9,33	0,14	1,73	0,15	11,39	
2017	0,02	9,38	0,14	1,74	0,16	11,44	
2018	0,03	9,60	0,10	1,81	0,17	11,71	
2019	0,04	10,07	0,08	1,84	0,19	12,22	
2020	0,01	4,08	0,03	0,94	0,04	5,10	
Emissions NOx (tonnes)							
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)	
2016	0,21	52,67	7,69	144,38	12,91	217,86	
2017	0,13	52,93	7,78	145,48	13,65	219,97	
2018	0,20	54,18	5,23	150,75	14,26	224,62	
2019	0,25	56,81	4,26	153,52	15,62	230,46	
2020	0,05	23,06	1,82	78,28	3,02	106,23	
Emissions SO2 (tonnes)							
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)	
2016	0,03	8,32	0,82	11,78	1,05	22,01	
2017	0,02	8,36	0,83	11,87	1,11	22,19	
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	0,01	3,64	0,19	6,39	0,25	10,48	
Emissions PM10 (tonnes)							
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)	
2016	0,01	2,00	0,19	1,25	0,11	3,56	
2017	0,00	2,01	0,19	1,26	0,12	3,58	
2018	0,01	2,06	0,13	1,31	0,12	3,63	
2019	0,01	2,16	0,11	1,33	0,13	3,74	
2020	0,00	0,88	0,05	0,68	0,03	1,64	
Emissions PM2,5 (tonnes)							
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)	
2016	0,01	1,69	0,16	1,06	0,09	3,00	
2017	0,00	1,70	0,16	1,06	0,10	3,02	
2018	0,01	1,74	0,11	1,11	0,10	3,06	
2019	0,01	1,82	0,09	1,12	0,11	3,16	
2020	0,00	0,74	0,04	0,57	0,03	1,38	

Annexe 9 : Tableau des résultats des émissions APU – Paris-Orly

Emissions CO (tonnes)					
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVYV	Total (APU)
2016	0,25	29,75	0,31	1,91	32,22
2017	0,2	29,13	0,16	2,09	31,58
2018	0,41	28,64	0,15	2,39	31,59
2019	0,88	26,68	0,07	2,52	30,15
2020	0,43	9,86	0	1,17	11,46
Emissions COVNM (tonnes)					
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVYV	Total (APU)
2016	0,05	5,62	0,02	0,32	6,01
2017	0,04	5,5	0,01	0,35	5,90
2018	0,08	5,41	0,01	0,41	5,91
2019	0,17	5,04	0,01	0,43	5,65
2020	0,08	1,86	0	0,2	2,14
Emissions NOx (tonnes)					
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVYV	Total (APU)
2016	0,23	27,56	1,19	28,12	57,10
2017	0,18	26,99	0,63	30,78	58,58
2018	0,38	26,53	0,56	35,14	62,61
2019	0,82	24,72	0,28	37,04	62,86
2020	0,4	9,14	0	17,23	26,77
Emissions SO2 (tonnes)					
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVYV	Total (APU)
2016	0,03633	4,36032	0,12654	2,28567	6,81
2017	0,0287	4,27007	0,06716	2,50195	6,87
2018	0,06027	4,19777	0,06017	2,85691	7,18
2019	0,12906	3,91129	0,03009	3,01112	7,08
2020	0,06304	1,44622	0,00036	1,40054	2,91
Emissions PM10 (tonnes)					
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVYV	Total (APU)
2016	0,01	1,09	0,03	0,24	1,37
2017	0,01	1,07	0,02	0,26	1,36
2018	0,02	1,05	0,01	0,3	1,38
2019	0,03	0,98	0,01	0,32	1,34
2020	0,02	0,36	0	0,15	0,53
Emissions PM2,5 (tonnes)					
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVYV	Total (APU)
2016	0,00844	0,91996	0,02532	0,20256	1,16
2017	0,00844	0,90308	0,01688	0,21944	1,15
2018	0,01688	0,8862	0,00844	0,2532	1,16
2019	0,02532	0,82712	0,00844	0,27008	1,13
2020	0,01688	0,30384	0	0,1266	0,45

Annexe 10 : Tableau des résultats des émissions APU – Paris-Le Bourget

Emissions CO (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2016	9,629	14,315	0,030	0,034	0,000	24,01
2017	10,758	15,706	0,044	0,028	0,001	26,54
2018	10,743	15,590	0,026	0,020	0,000	26,38
2019	10,478	14,634	0,017	0,016	0,001	25,14
2020	7,611	7,991	0,010	0,003	0,000	15,62
Emissions COVNM (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2016	0,883	1,308	0,002	0,006	0,000	2,20
2017	0,986	1,436	0,003	0,005	0,000	2,43
2018	0,984	1,426	0,002	0,003	0,000	2,42
2019	0,959	1,338	0,001	0,003	0,000	2,30
2020	0,696	0,730	0,001	0,001	0,000	1,43
Emissions NOx (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2016	9,117	13,567	0,165	0,499	0,000	23,35
2017	10,186	14,884	0,242	0,409	0,010	25,73
2018	10,173	14,772	0,147	0,285	0,000	25,38
2019	9,924	13,867	0,097	0,234	0,008	24,13
2020	7,210	7,574	0,057	0,050	0,000	14,89
Emissions SO2 (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2016	1,331	1,981	0,017	0,041	0,000	3,37
2017	1,487	2,173	0,026	0,033	0,001	3,72
2018	1,485	2,157	0,016	0,023	0,000	3,68
2019	1,449	2,024	0,010	0,019	0,001	3,50
2020	1,053	1,106	0,006	0,004	0,000	2,17
Emissions PM10 (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2016	0,481	0,716	0,004	0,004	0,000	1,21
2017	0,538	0,786	0,006	0,004	0,000	1,33
2018	0,537	0,780	0,004	0,002	0,000	1,32
2019	0,524	0,732	0,002	0,002	0,000	1,26
2020	0,381	0,400	0,001	0,000	0,000	0,78
Emissions PM2,5 (tonnes)						
Année	LIGHT	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (APU)
2016	0,406	0,604	0,001	0,001	0,000	1,01
2017	0,454	0,663	0,001	0,001	0,000	1,12
2018	0,453	0,658	0,001	0,001	0,000	1,11
2019	0,442	0,618	0,001	0,000	0,000	1,06
2020	0,321	0,337	0,000	0,000	0,000	0,66

Annexe 11 : 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 avancée⁴⁶</u></p> <p>Les émissions des GSE dont GPU sont calculées pour l'inventaire 2020 selon l'équation suivante :</p> $\text{Emission}_{\text{polluant}} [\text{g/GSE}] = \text{Puissance moteur} \times \text{facteur de charge} \times \text{facteur d'émissions} \times \text{Temps d'utilisation} \times \text{DF}$ <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'émissions [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'émissions 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 EMNR⁴⁷ pour les engins mobiles non routier (dépourvu d'immatriculation) - La norme EURO⁴⁸ pour les véhicules pourvus d'une immatriculation
Données d'activité : parc GSE	<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</p>

⁴⁶ ICAO, Doc 9889 – airport Air Quality Manual – Second Edition, 2020. 3-A2-8

⁴⁷ 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)

⁴⁸ 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'émissions de polluants atmosphériques en application de l'article R. 318-2 du code de la route

Inventaire 2020 des émissions atmosphériques - Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly, Paris-Le Bourget

Paramètres Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions GSE dont GPU

(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.

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.

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.

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.

Sur les 100 rotations de la campagne, 86 ont été observées au contact et 14 au large.

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.

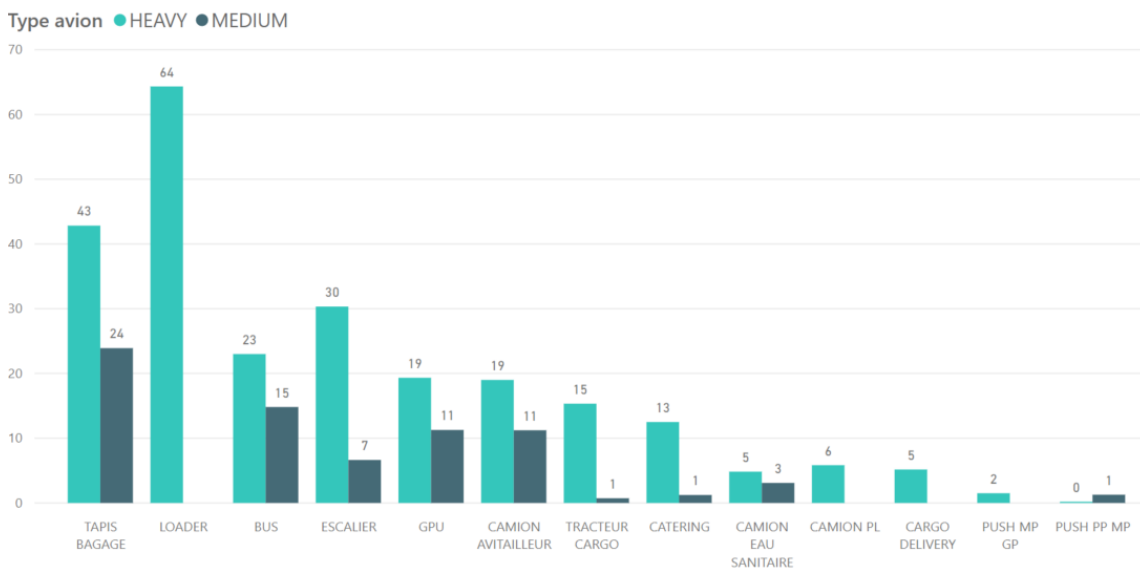
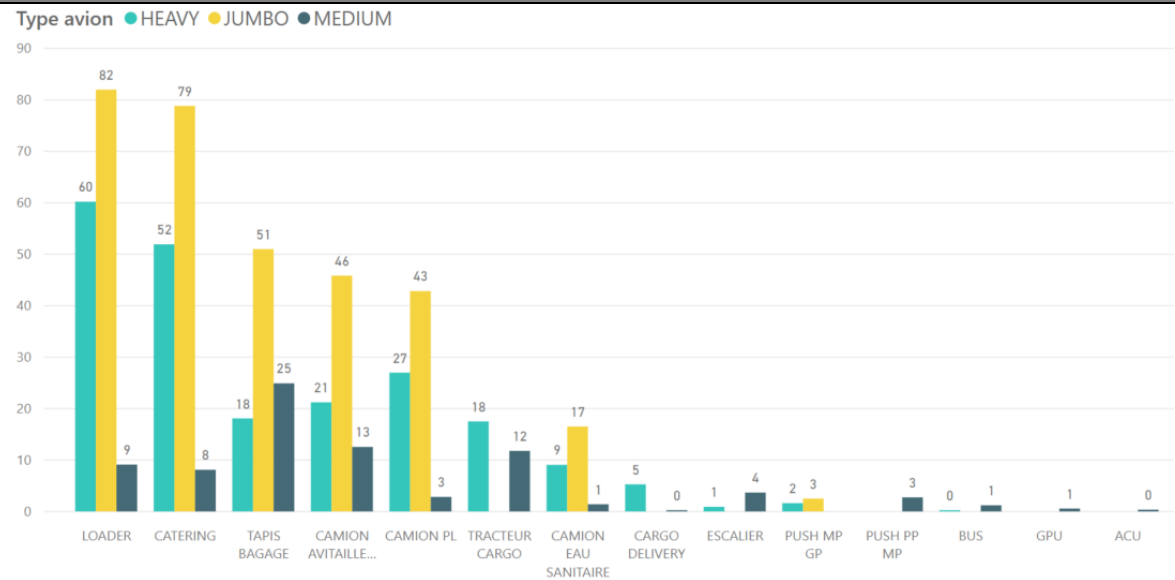
FAMILLES GSE	AGE MOYEN	FACTEURS DE CHARGE OACI	TYPE DE NORME	PUISSANCE MOYENNE EN KW	PUISSANCE OACI KW
ACU	19	0,50	NRMM	108,53	150,00
ASU	18	0,90	NRMM	388,00	150,00
BUS	13	0,30	EURO		100,00
CAMION AVITAILLEUR	11	0,30	EURO		90,00
CAMION EAU SANITAIRE	9	0,25	EURO	117,24	120,00
CAMION PL	11	0,25	EURO	88,50	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
DÉGIVREUSE	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

Données d'activité :

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.

Temps d'utilisation des GSE

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 2020. 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.

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.

Paramètres **Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions GSE dont GPU**

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

Les résultats de temps observés lors de la campagne 2018, ont permis de calculer des facteurs d'émissions 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'émissions 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 présenté, de l'étude du parc GSE et temps observé lors de la campagne de 2018 amène à définir les facteurs d'émissions agrégés par type de porteur et type de contact.

Type de contact	Au contact				Au large			
Type de porteur	NOx (g/vol)	COVNM (g/vol)	CO (g/vol)	PM (g/vol)	NOx (g/vol)	COVNM (g/vol)	CO (g/vol)	PM (g/vol)
HEAVY	213	46	230	17	273	60	323	27
JUMBO	303	65	308	21	-	-	-	-
MEDIUM	81	18	96	8	88	18	95	7

Ces facteurs d'émissions 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.

Le cas des GSE sur l'aéroport de Paris-Le Bourget sera traité ultérieurement après complétude du parc de GSE et des pratiques spécifiques à cette plateforme.

Annexe 12 : Tableau des résultats des émissions GSE – Paris-Charles de Gaulle

Emissions CO (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (GSE)
2016	32,84	2,15	27,12	2,95	65,07
2017	33,04	2,18	27,36	3,12	65,70
2018	33,79	1,46	28,57	3,27	67,10
2019	35,40	1,19	28,73	3,58	68,90
2020	14,54	0,52	16,53	0,70	32,29
Emissions COVNM (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (GSE)
2016	6,23	0,41	5,31	0,62	12,56
2017	6,26	0,41	5,36	0,65	12,69
2018	6,41	0,28	5,59	0,68	12,96
2019	6,71	0,23	5,64	0,75	13,32
2020	2,76	0,10	3,20	0,15	6,20
Emissions NOx (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (GSE)
2016	27,77	1,85	24,33	2,88	56,82
2017	27,95	1,87	24,55	3,04	57,40
2018	28,62	1,27	25,59	3,18	58,67
2019	30,04	1,04	25,81	3,48	60,38
2020	12,31	0,47	14,64	0,68	28,09
Emissions PM10 (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (GSE)
2016	2,82	0,18	2,14	0,20	5,34
2017	2,83	0,18	2,16	0,22	5,39
2018	2,89	0,12	2,26	0,23	5,49
2019	3,01	0,10	2,26	0,25	5,62
2020	1,25	0,04	1,33	0,05	2,66
Emissions PM2,5 (tonnes)					
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	JUMBO	Total (GSE)
2016	2,38	0,15	1,81	0,17	4,51
2017	2,39	0,15	1,82	0,18	4,55
2018	2,44	0,10	1,91	0,19	4,64
2019	2,54	0,08	1,91	0,21	4,74
2020	1,05	0,03	1,12	0,04	2,24

Annexe 13 : Tableau des résultats des émissions GSE – Paris-Orly

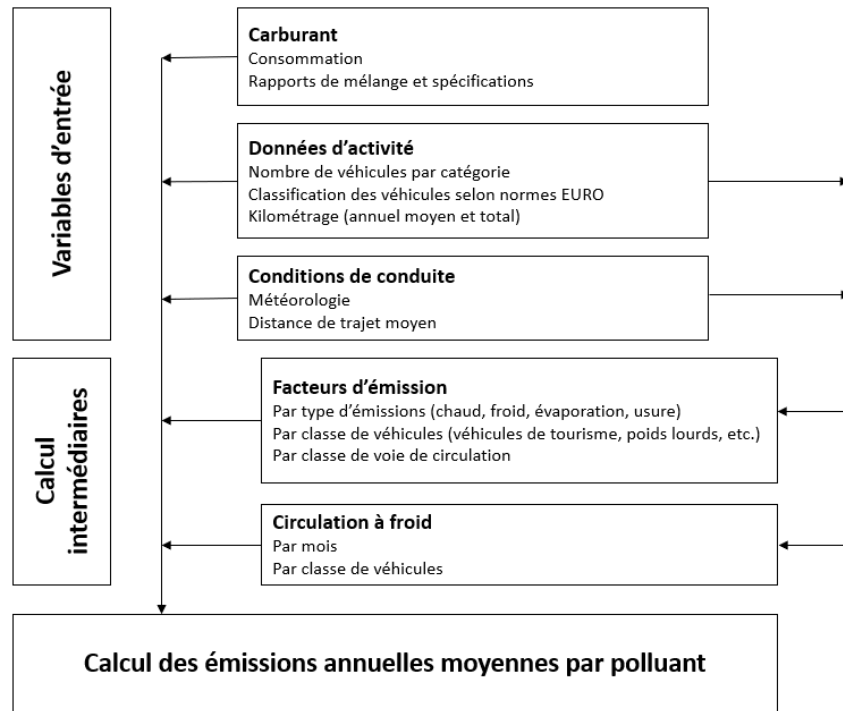
Emissions CO (tonnes)				
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	Total (GSE)
2016	21,016	0,418	3,721	25,16
2017	20,582	0,224	4,121	24,93
2018	20,243	0,204	4,886	25,33
2019	18,868	0,106	5,069	24,04
2020	7,020	0,003	2,281	9,30
Emissions COVNM (tonnes)				
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	Total (GSE)
2016	3,983	0,079	0,733	4,80
2017	3,901	0,042	0,807	4,75
2018	3,837	0,039	0,949	4,82
2019	3,576	0,020	0,987	4,58
2020	1,331	0,000	0,448	1,78
Emissions NOx (tonnes)				
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	Total (GSE)
2016	17,765	0,362	3,358	21,49
2017	17,408	0,193	3,693	21,29
2018	17,096	0,179	4,336	21,61
2019	15,913	0,093	4,512	20,52
2020	5,921	0,002	2,050	7,97
Emissions PM10 (tonnes)				
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	Total (GSE)
2016	1,804	0,034	0,292	2,13
2017	1,765	0,019	0,326	2,11
2018	1,741	0,016	0,391	2,15
2019	1,627	0,008	0,404	2,04
2020	0,605	0,000	0,180	0,79
Emissions PM2,5 (tonnes)				
Année	MEDIUM	MEDIUM_HEAVY	HEAVY	Total (GSE)
2016	1,522	0,029	0,246	1,80
2017	1,489	0,016	0,275	1,78
2018	1,469	0,014	0,330	1,81
2019	1,373	0,007	0,341	1,72
2020	0,511	0,000	0,152	0,66

Annexe 14 : 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>Méthodologie de calcul EMEP/EEA publiée en 2019 (approche Tier 3)⁴⁹</p> <p>Le calcul des émissions routières repose sur les facteurs d'émissions compilés dans la note méthodologique du rapport de 2019 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 2019 - 1.A.3.b.v Gasoline evaporation 2019 - 1.A.3.b.vi-vii Road tyre and brake wear 2019 <p>Ces documents font partie intégrante de l'outil COPERT V (dernière version en date, septembre 2022) développé par la société EMISIA⁵⁰ 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'émissions 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> $E_{\text{Total}} = \text{Emissions totales (g) d'un polluant}$ $E_{\text{Chaud}} = \text{Emissions (g) moteur à chaud stabilisé}$ $E_{\text{Froid}} = \text{Emissions (g) démarrage à froid}$ <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'émissions associé. Ces facteurs d'émissions 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>

⁴⁹ <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>

⁵⁰ <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 divers 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'émissions 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'émissions 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'émissions "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 réchauffés. 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'émissions 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'émissions 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 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'émissions 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'émissions 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'émissions 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'émissions 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'émissions 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'émissions 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'émissions 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'émissions 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 utilisée pour le calcul des émissions est la plus sophistiquée proposée dans ce guide méthodologique (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'émissions 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'émissions (pneu ou freinage).</p>

Les facteurs d'émissions 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'émissions 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'émissions 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'émissions TSP (g/km) pour le poids lourd

N_{axle} = Nombre d'essieux

LCF_T = Facteur de charge corrigé

$EF_{TSP,T,PC}$ = Facteur d'émissions 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
PM10	0.60
PM2.5	0.42

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

$$V < 40 \text{ km/h, } S_T(V) = 1.39$$

$$40 \text{ km/h} < V < 90 \text{ km/h, } S_T(V) = -0.00974 V + 1.78$$

$$V > 90 \text{ km/h, } S_T(V) = 0.902$$

Les facteurs d'émissions 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.

Catégorie de véhicules (j)	Facteur d'émissions 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'émissions 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'émissions TSP (g/km) pour le poids lourd

LCF_B = Facteur de correction

$EF_{TSP,B,PC}$ = Facteur d'émissions 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
PM10	0.98
PM2.5	0.39

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

$V < 40$ km/h, $S_B(V) = 1.67$

40 km/h $< V < 95$ km/h, $S_B(V) = -0.0270 V + 2.75$

$V > 95$ km/h, $S_B(V) = 0.185$

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 :

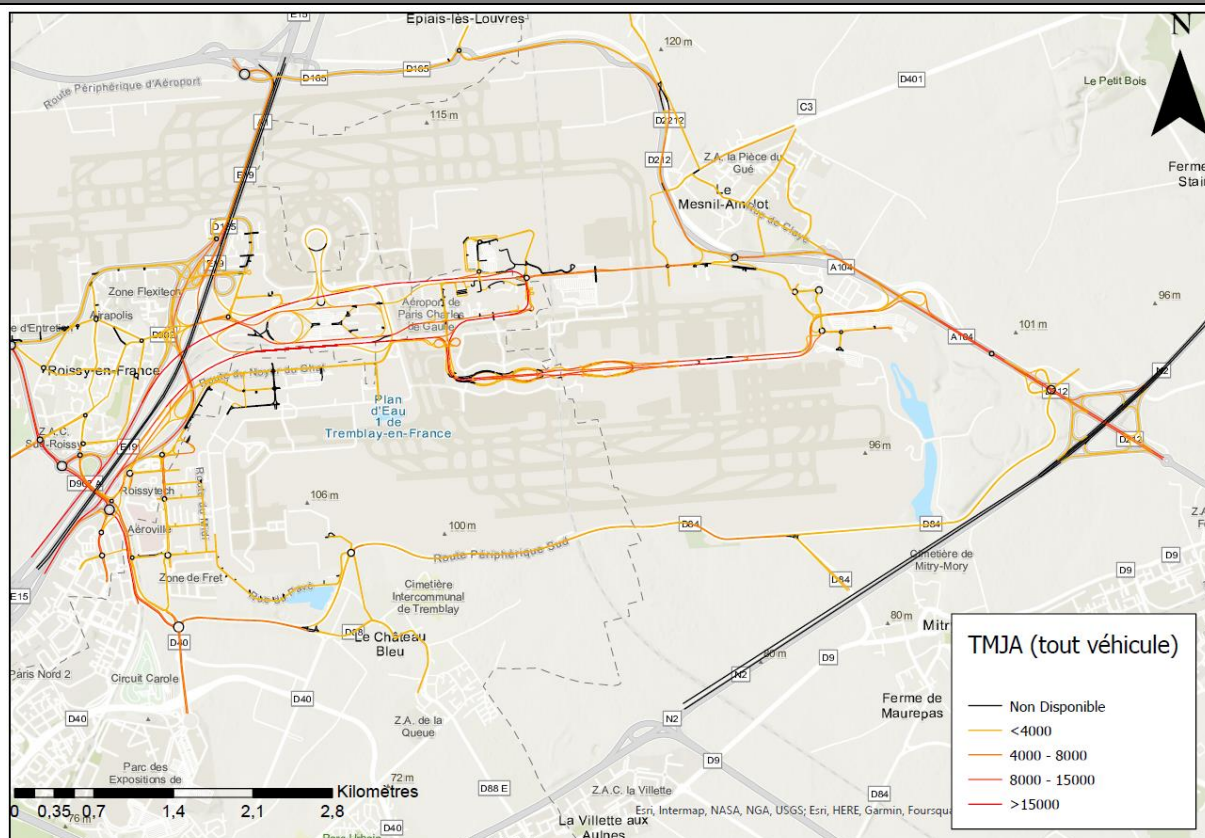
- Mise à jour 2022 de la composition du parc automobile français, période 1970-2050 résultant de la modélisation UGE-IFSTTAR – Notes – 11/04/2022

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 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 électrique ou hydrogène. Cependant, l'impact sur les émissions de polluants suivis dans cet inventaire est négligeable.</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 réglementaires, etc.) - Catégories réglementaires 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>Le tableau suivant présente, en synthèse, le nombre de véhicules par catégorie et par énergie utilisée</p>

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du trafic routier																																																			
	<table border="1" data-bbox="370 210 1497 824"> <thead> <tr> <th>Catégorie de véhicule</th> <th>Nombre d'unité</th> <th>Energie utilisée</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Bus</td><td>4606</td><td>CNG</td></tr> <tr><td>Bus</td><td>89417</td><td>Diesel</td></tr> <tr><td>Bus</td><td>2531</td><td>Diesel Hybride</td></tr> <tr><td>Poids Lourds</td><td>507465</td><td>Diesel</td></tr> <tr><td>Poids Lourds</td><td>329</td><td>Essence</td></tr> <tr><td>2 roues</td><td>80406</td><td>Diesel</td></tr> <tr><td>2 roues</td><td>3922868</td><td>Essence</td></tr> <tr><td>Véhicules utilitaires légers</td><td>5962514</td><td>Diesel</td></tr> <tr><td>Véhicules utilitaires légers</td><td>175578</td><td>Essence</td></tr> <tr><td>Véhicules particuliers</td><td>49419</td><td>CNG Bi-carburant</td></tr> <tr><td>Véhicules particuliers</td><td>19063333</td><td>Diesel</td></tr> <tr><td>Véhicules particuliers</td><td>128647</td><td>Diesel PHEV</td></tr> <tr><td>Véhicules particuliers</td><td>166384</td><td>LPG Bi-carburant</td></tr> <tr><td>Véhicules particuliers</td><td>12674892</td><td>Essence</td></tr> <tr><td>Véhicules particuliers</td><td>981578</td><td>Essence Hybride</td></tr> <tr><td>Véhicules particuliers</td><td>148213</td><td>Essence PHEV</td></tr> </tbody> </table>	Catégorie de véhicule	Nombre d'unité	Energie utilisée	Bus	4606	CNG	Bus	89417	Diesel	Bus	2531	Diesel Hybride	Poids Lourds	507465	Diesel	Poids Lourds	329	Essence	2 roues	80406	Diesel	2 roues	3922868	Essence	Véhicules utilitaires légers	5962514	Diesel	Véhicules utilitaires légers	175578	Essence	Véhicules particuliers	49419	CNG Bi-carburant	Véhicules particuliers	19063333	Diesel	Véhicules particuliers	128647	Diesel PHEV	Véhicules particuliers	166384	LPG Bi-carburant	Véhicules particuliers	12674892	Essence	Véhicules particuliers	981578	Essence Hybride	Véhicules particuliers	148213	Essence PHEV
Catégorie de véhicule	Nombre d'unité	Energie utilisée																																																		
Bus	4606	CNG																																																		
Bus	89417	Diesel																																																		
Bus	2531	Diesel Hybride																																																		
Poids Lourds	507465	Diesel																																																		
Poids Lourds	329	Essence																																																		
2 roues	80406	Diesel																																																		
2 roues	3922868	Essence																																																		
Véhicules utilitaires légers	5962514	Diesel																																																		
Véhicules utilitaires légers	175578	Essence																																																		
Véhicules particuliers	49419	CNG Bi-carburant																																																		
Véhicules particuliers	19063333	Diesel																																																		
Véhicules particuliers	128647	Diesel PHEV																																																		
Véhicules particuliers	166384	LPG Bi-carburant																																																		
Véhicules particuliers	12674892	Essence																																																		
Véhicules particuliers	981578	Essence Hybride																																																		
Véhicules particuliers	148213	Essence PHEV																																																		
<p>Données d'activité :</p> <p>Réseau routier, Vitesse et nombre de 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) <p>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.</p>																																																			



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.



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

Les émissions ont tout d'abord été estimées sur le parc roulant UGE-IFSTAR-2022 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-IFSTAR-2022 (correspondant à 8.72% pour l'année 2020) pour recalculer le nombre total de 2R sur chacun des tronçons routiers.

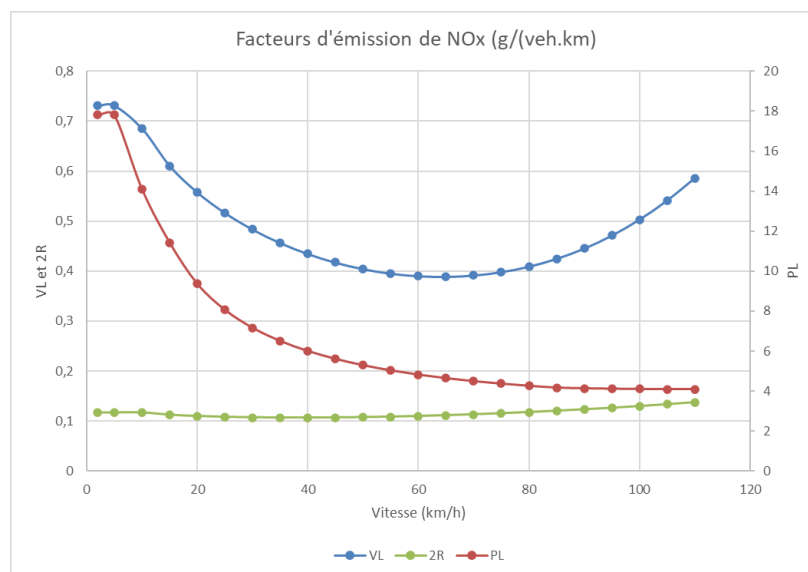
Cette approche permet de disposer d'une agrégation suffisante pour être appliquée au réseau routier tout en conservant le niveau de détail proposé dans la composition du parc UGE-IFSTAR-2022.

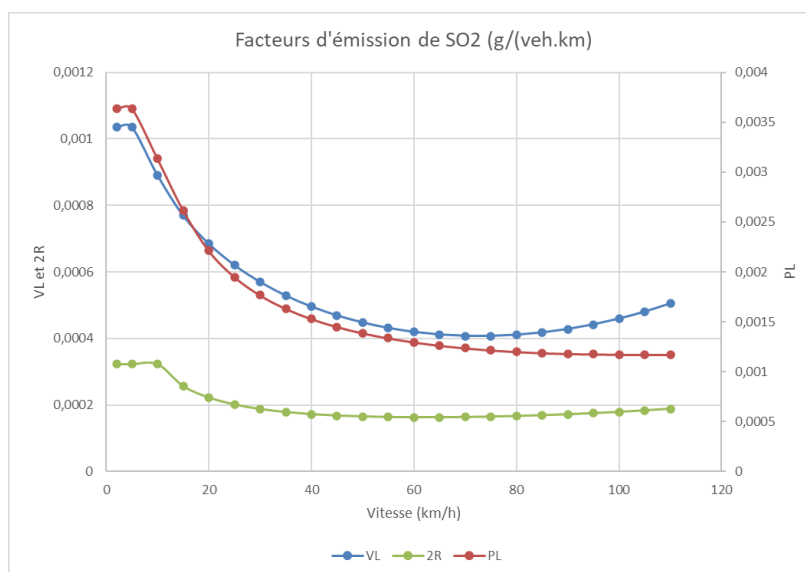
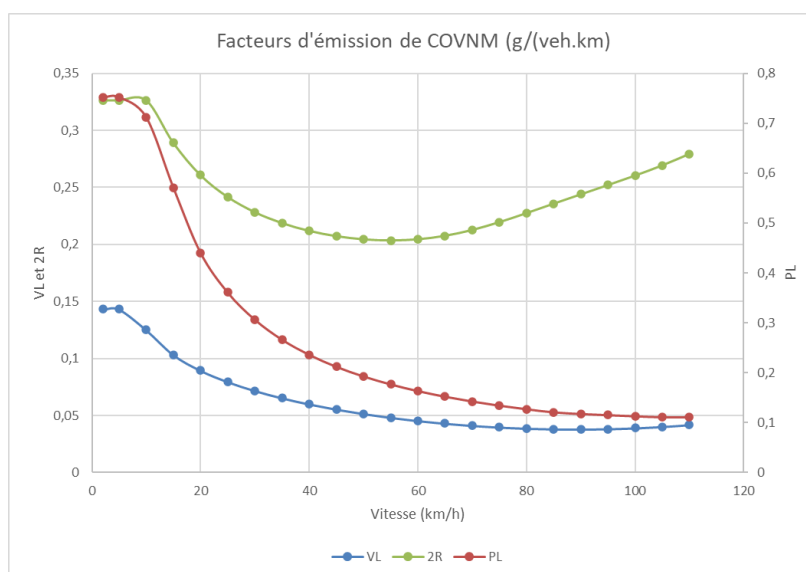
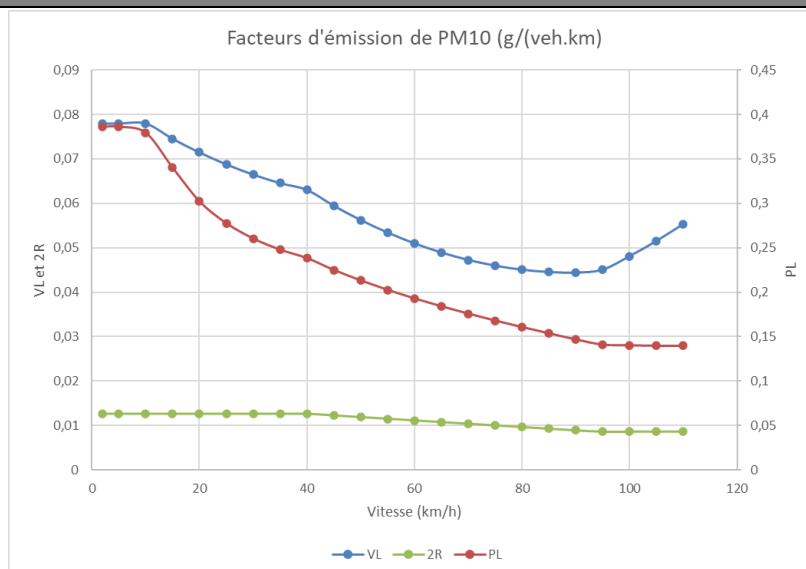
Le tableau suivant compile la composition du stock selon les trois VME considéré, ainsi que le nombre de véhicules par carburant utilisé.

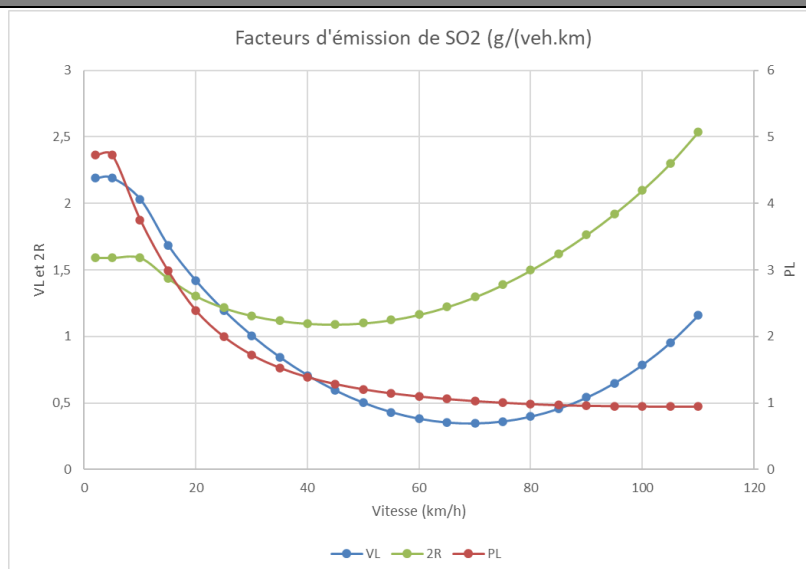
Nombre de véhicules	VL	PL	2R
Stock (distribution en %)	39698128 (89.9%)	612696 (1.4%)	3853868 (8.7%)
Dont :			
Diesel	25566212	606305	0
CNG	0	4141	0
Essence hybride	726235	0	0
Diesel PHEV	94905	0	0
CNG bi-carburant	3115	0	0
Essence PHEV	134609	0	0
LPG bi-carburant	131044	0	0
Diesel hybride	0	0	0
Essence	13042008	72	3853868

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/VME/km) par VME, par vitesse et par polluant. Tous les polluants sont présentés à l'exception des PM_{2,5} dont les tendances sont analogues aux PM₁₀.







Annexe 15 : 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'émissions	<p>Méthodologie de calcul EMEP/EEA publiée en 2019 (approche Tier 1)⁵¹</p> <p>Le calcul des émissions routières repose sur les facteurs d'émissions compilés dans la note méthodologique du rapport de 2019 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 2019 <p>L'approche Tier 1 a été retenue et présente les facteurs d'émissions par catégorie de véhicule en g par kg de carburant consommé. Ces facteurs d'émissions sont listés dans le tableau suivant.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px 0;"> <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 style="text-align: center;">84,7</td> <td style="text-align: center;">10,05</td> <td style="text-align: center;">8,73</td> <td style="text-align: center;">0,03</td> </tr> <tr> <td>Véhicule particulier (diesel)</td> <td style="text-align: center;">3,33</td> <td style="text-align: center;">0,7</td> <td style="text-align: center;">12,96</td> <td style="text-align: center;">1,1</td> </tr> <tr> <td>Véhicule utilitaire léger (essence)</td> <td style="text-align: center;">152,3</td> <td style="text-align: center;">14,59</td> <td style="text-align: center;">13,22</td> <td style="text-align: center;">0,02</td> </tr> <tr> <td>Véhicule utilitaire léger (diesel)</td> <td style="text-align: center;">7,4</td> <td style="text-align: center;">1,54</td> <td style="text-align: center;">14,91</td> <td style="text-align: center;">1,52</td> </tr> <tr> <td>Poids lourd (diesel)</td> <td style="text-align: center;">7,58</td> <td style="text-align: center;">0,26</td> <td style="text-align: center;">33,37</td> <td style="text-align: center;">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 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. A noter que seuls les véhicules de type essence et diesel ont été pris en compte.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px 0;"> <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 style="text-align: center;">5</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">67</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">69</td> </tr> <tr> <td>Camion</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td></td> <td style="text-align: center;">26</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> <td style="text-align: center;">26</td> </tr> <tr> <td>Citadine</td> <td style="text-align: center;">48</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td></td> <td style="text-align: center;">63</td> <td style="text-align: center;">66</td> </tr> <tr> <td>Divers</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">10</td> <td></td> <td style="text-align: center;">24</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">14</td> </tr> <tr> <td>Elévateur</td> <td style="text-align: center;">21</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">8</td> </tr> <tr> <td>Espace vert</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Fourgon</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">155</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">157</td> </tr> <tr> <td>Fourgonnette</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">142</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">146</td> </tr> <tr> <td>Neige</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">245</td> <td></td> <td style="text-align: center;">159</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">247</td> </tr> <tr> <td>Remorque</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">24</td> <td></td> <td style="text-align: center;">74</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">29</td> </tr> <tr> <td>SSI</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">12</td> <td></td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">14</td> </tr> <tr> <td>Transport en commun</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">6</td> </tr> <tr> <td>Véhicule de direction</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">4</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">9</td> <td style="text-align: center;">13</td> </tr> <tr> <td>Total général</td> <td style="text-align: center;">151</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">704</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">260</td> <td style="text-align: center;">93</td> <td style="text-align: center;">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'émissions 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																																																																																																																																

⁵¹ <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du trafic routier												
Données d'activité : Consommation annuelle de carburant	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									
<p>Les consommations de carburants sont également issues de données du Groupe ADP pour l'année 2017 et compilées dans le tableau suivant.</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Type de carburant</th> <th style="text-align: center;">Volume annuel consommé (l)</th> <th style="text-align: center;">Facteur de conversion (l/kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Essence</td> <td style="text-align: center;">17628</td> <td style="text-align: center;">0.750</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Diesel</td> <td style="text-align: center;">96853</td> <td style="text-align: center;">0.860</td> </tr> </tbody> </table>					Type de carburant	Volume annuel consommé (l)	Facteur de conversion (l/kg)	Essence	17628	0.750	Diesel	96853	0.860
Type de carburant	Volume annuel consommé (l)	Facteur de conversion (l/kg)											
Essence	17628	0.750											
Diesel	96853	0.860											

Annexe 16 : Tableau des résultats des émissions du trafic routier en zone publique – Paris-Charles de Gaulle

Emissions CO (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2020	197,43	33,80	53,03	284,26
Emissions COVNM (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2020	19,16	5,08	8,79	33,03
Emissions NOx (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2020	171,26	146,11	4,55	321,92
Emissions SO2 (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2020	0,18	0,04	0,01	0,23
Emissions TSP (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2020	14,68	4,15	0,33	19,16
Emissions PM10 (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2020	21,09	5,64	0,43	27,16
Emissions PM2,5 (tonnes)				
Année	VL	PL	2R	Total
2020	14,68	4,15	0,33	19,16

Annexe 17 : 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, PM2.5) 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 du rapport OMINEA 2022⁵² est la suivante :</p> $\text{Emissions}_{\text{polluant}} = \sum_{\text{ligne}} (\text{kilomètres parcourus}_{\text{ligne}} \times \text{Facteur d'émissions}_{\text{polluant}})$ <p>Avec</p> <p>Emissions_{polluant} : (Tonnes/an)</p> <p>Kilomètre parcouru (km/an)</p> <p>Facteur d'émissions_{polluant} (Tonnes/km) : Facteur Base OMINEA 2018</p>																																								
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, 2020 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" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Lignes</th> <th style="width: 20%;">Nombre de passages / an</th> <th style="width: 20%;">Longueur de voie ferrée sur la plateforme (en km)</th> <th style="width: 20%;">Train.km en 2020 (entre parenthèse le ratio 2019)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TGV</td> <td>110 240</td> <td>6.0</td> <td>199 424 (30%)</td> </tr> <tr> <td>RER B</td> <td>15 000</td> <td>4.4</td> <td>32 775 (50%)</td> </tr> <tr> <td>CDGVAL ligne 1</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>435 797 (-)</td> </tr> <tr> <td>CDGVAL ligne 2</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>181 549 (-)</td> </tr> </tbody> </table> <p>Pour le TGV et le RER B, les informations du nombre de passage en 2019 ont été transmis par la SNCF. En 2020 à la suite de la crise sanitaire le nombre de passage de TGV a diminué de 50% et le nombre de passage de RER a atteint 30% de l'activité durant l'année 2019. La longueur des voies a été déterminée via Open data SNCF tout en considérant les cartes SIG de la plateforme.</p>	Lignes	Nombre de passages / an	Longueur de voie ferrée sur la plateforme (en km)	Train.km en 2020 (entre parenthèse le ratio 2019)	TGV	110 240	6.0	199 424 (30%)	RER B	15 000	4.4	32 775 (50%)	CDGVAL ligne 1	-	-	435 797 (-)	CDGVAL ligne 2	-	-	181 549 (-)																				
Lignes	Nombre de passages / an	Longueur de voie ferrée sur la plateforme (en km)	Train.km en 2020 (entre parenthèse le ratio 2019)																																						
TGV	110 240	6.0	199 424 (30%)																																						
RER B	15 000	4.4	32 775 (50%)																																						
CDGVAL ligne 1	-	-	435 797 (-)																																						
CDGVAL ligne 2	-	-	181 549 (-)																																						
Facteurs d'émissions	<p>Pour les TGV et le RER B, les facteurs d'émissions TSP, PM₁₀, PM_{2.5} utilisés provenant de Base OMINEA 2022 sont les suivants :</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">Secteur NFR</th> <th style="width: 15%;">Polluant</th> <th style="width: 30%;">Source d'émission</th> <th style="width: 30%;">Facteurs d'émission</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.A.3.c</td> <td>PM₁₀</td> <td>Freinage</td> <td>5.0</td> </tr> <tr> <td>1.A.3.c</td> <td>PM_{2.5}</td> <td>Freinage</td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td>1.A.3.c</td> <td>TSP</td> <td>Freinage</td> <td>15.6</td> </tr> <tr> <td>1.A.3.c</td> <td>PM₁₀</td> <td>Roue/Rail</td> <td>3.4</td> </tr> <tr> <td>1.A.3.c</td> <td>PM_{2.5}</td> <td>Roue/Rail</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>1.A.3.c</td> <td>TSP</td> <td>Roue/Rail</td> <td>6.76</td> </tr> <tr> <td>1.A.3.c</td> <td>PM₁₀</td> <td>Caténaires</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>1.A.3.c</td> <td>PM_{2.5}</td> <td>Caténaires</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>1.A.3.c</td> <td>TSP</td> <td>Caténaires</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Secteur NFR	Polluant	Source d'émission	Facteurs d'émission	1.A.3.c	PM ₁₀	Freinage	5.0	1.A.3.c	PM _{2.5}	Freinage	2.3	1.A.3.c	TSP	Freinage	15.6	1.A.3.c	PM ₁₀	Roue/Rail	3.4	1.A.3.c	PM _{2.5}	Roue/Rail	1.0	1.A.3.c	TSP	Roue/Rail	6.76	1.A.3.c	PM ₁₀	Caténaires	-	1.A.3.c	PM _{2.5}	Caténaires	-	1.A.3.c	TSP	Caténaires	-
Secteur NFR	Polluant	Source d'émission	Facteurs d'émission																																						
1.A.3.c	PM ₁₀	Freinage	5.0																																						
1.A.3.c	PM _{2.5}	Freinage	2.3																																						
1.A.3.c	TSP	Freinage	15.6																																						
1.A.3.c	PM ₁₀	Roue/Rail	3.4																																						
1.A.3.c	PM _{2.5}	Roue/Rail	1.0																																						
1.A.3.c	TSP	Roue/Rail	6.76																																						
1.A.3.c	PM ₁₀	Caténaires	-																																						
1.A.3.c	PM _{2.5}	Caténaires	-																																						
1.A.3.c	TSP	Caténaires	-																																						

⁵² CITEPA - Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France. OMINEA – 19^e édition Mars 2022