



Inventaire des émissions atmosphériques des aéroports franciliens

Année 2019

Paris-Charles de Gaulle

Paris-Orly

Paris-Le Bourget

10/12/2020

SOMMAIRE

Table des figures	3
Liste des abréviations	5
Introduction	6
I. Données d'entrées et synthèse du trafic avion	8
a. Type de données de trafic	8
b. Synthèse du trafic aérien par plateforme	9
II. Le cycle LTO	12
a. Méthodologies de calculs et facteurs d'émission	12
b. Résultats des calculs d'émissions	13
c. Comparaison des méthodologies pour les émissions des PM ₁₀ issus de la combustion	17
III. Les moteurs auxiliaires (APU) au poste	19
a. Méthodologies de calculs et facteurs d'émission	19
b. Résultats des calculs d'émissions	20
c. Comparaison des différentes méthodologies pour les émissions des APU	22
IV. Les engins et véhicules spéciaux (GSE dont GPU)	24
a. Méthodologies de calculs et facteurs d'émission	24
b. Résultats des calculs d'émissions	25
V. Le trafic routier	26
a. Méthodologies de calculs et facteurs d'émission	26
b. Résultats des calculs d'émissions	27
VI. Le trafic ferroviaire (TGV + RER)	28
a. Méthodologies de calculs et facteurs d'émission	28
b. Résultats des calculs d'émissions	28
VII. Les centrales thermiques (CTFE et CTP)	29
a. Synthèse des émissions	29
VIII. Agrégation des émissions par plateforme	31
IX. Etudes et réflexions engagées par source	34
Annexes	35



Table des figures

Tableau 1: Travaux réalisés sur l'inventaire 2019 (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)	7
Tableau 2 : Caractéristique des différents niveaux d'approche pour un inventaire d'émissions d'après le guide de l'OACI 9889.....	7
Tableau 3: Nombre de mouvements avion par plateforme en 2019.....	8
Tableau 4 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du cycle LTO (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2019)	12
Tableau 5: Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des APU au poste (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2019 pour Paris-Orly, Paris-Charles de Gaulle et Paris-Le Bourget - en vert les améliorations apportées par rapport à l'inventaire 2018)	19
Tableau 6 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des engins spéciaux au poste (en gras l'approche retenue pour l'inventaire 2019)	24
Tableau 7 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du trafic routier en zone publique (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2019)	26
Tableau 8 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du trafic routier en zone publique (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2019)	26
Tableau 9: Emissions 2017 du trafic routier en zone publique sur Paris-Charles de Gaulle	27
Tableau 10: 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 2019	28
Tableau 11 Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des CTFE (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2019)	29
Tableau 12: Emissions des polluants des centrales thermiques mesurées en continu pour l'année 2019 en tonnes.....	29
Tableau 13 : Méthodologies de calcul utilisées pour déterminer les émissions de chacune des sources propres à chaque plateforme.....	31
Tableau 14: Synthèses des données moyennes (âge, puissance, facteurs de charge et type de norme) pour les 19 familles d'engins recensés, après l'étude du parc GSE sur Paris-Charles de Gaulle en 2018.....	53
Tableau 15 : Facteurs d'émission moyen par mouvement (g/mouvements) pour les GSE au poste issus de l'étude de 2018 du Laboratoire du Groupe ADP	55
Figure 1 : Evolution pluriannuelle du nombre de mouvements sur les plateforme de Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget depuis 2015	9
Figure 2: Synthèse des données de trafic pour Paris-Charles de Gaulle	10
Figure 3: Synthèse des données de trafic pour Paris-Orly	11
Figure 4 : Exemple pour un cycle LTO en configuration d'atterrissage et décollage face à l'Est à Paris-Charles-de-Gaulle.	12
Figure 5 : Evolution des émissions par polluant (HC, NO _x , CO, PM ₁₀ , PM _{2.5}) détaillée par phase du cycle LTO à Paris-Charles de Gaulle	13
Figure 6 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5}) à Paris-Charles de Gaulle	14
Figure 7 : Evolution des émissions par polluant (HC, NO _x , CO, PM ₁₀ , PM _{2.5}) détaillée par phase du cycle LTO à Paris-Orly	15
Figure 8 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5}) à Paris-Orly	15
Figure 9 : Evolution des émissions par polluant (HC, NO _x , CO, PM ₁₀ , PM _{2.5}) détaillée par phase du cycle LTO à Paris-Le Bourget	16

Figure 10 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM10, PM2.5) à Paris-Le Bourget	17
Figure 11: Comparaison des émissions de PM ₁₀ selon différentes méthodologies (OACI_FOA3, CITEPA 2019 et CITEPA 2017) à Paris-.....	18
Figure 12 : Comparaison des émissions de PM ₁₀ selon différentes méthodologies (OACI_FOA3, CITEPA 2019 et CITEPA 2017) à Paris-Orly	18
Figure 13 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO _x , HC, CO,PM ₁₀ ,PM _{2.5} , et SO ₂ (en tonnes) des APU au poste à Paris-Charles de Gaulle	20
Figure 14 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO _x , HC, CO,PM ₁₀ ,PM _{2.5} , et SO ₂ (en tonnes) des APU au poste à Paris-Orly	21
Figure 15 Evolution pluriannuelle des émissions de NO _x , HC, CO,PM ₁₀ ,PM _{2.5} , et SO ₂ (en tonnes) des APU au poste à Paris-Le Bourget	21
Figure 16 : Impact de la prise en compte de différents temps d'utilisation des APU au poste sur les émissions de NO _x et les PM ₁₀ (en tonnes) à Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget en 2019	22
Figure 17 : Evolution pluriannuelle des émissions en tonnes de CO, NOX, HC et PM ₁₀ avec les facteurs CDG 2018 pour la plateforme de Paris-Charles de Gaulle	25
Figure 18 : Evolution pluriannuelle des émissions en tonnes de NOX, HC, CO et PM ₁₀ avec les facteurs CDG 2018 pour la plateforme de Paris-Orly	25
Figure 19 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO _x , CO, TSP et SO ₂ et temps de fonctionnement des CTFE de Paris-Charles de Gaulle.....	29
Figure 20 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO _x , CO, TSP et SO ₂ et des temps de fonctionnement des CTFE de Paris-Orly.....	30
Figure 21 : Répartition des émissions par source en fonction du polluant (NO _x , CO, HC, SO ₂ , PM _{2.5} , et PM ₁₀) à Paris-Charles de Gaulle en 2019.....	32
Figure 22: Répartition des émissions par source en fonction du polluant (NO _x , CO, HC, SO ₂ , PM _{2.5} , et PM ₁₀) à Paris-Orly en 2019.....	32
Figure 23 : Répartition des émissions par source en fonction du polluant (NO _x , CO, HC, SO ₂ , PM _{2.5} , et PM ₁₀) à Paris-Le Bourget en 2019.....	33
Figure 24: Temps moyens observés, par famille de GSE en fonction du type avion pour les postes au contact (graphique du haut) et au large (graphique du bas).....	54

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)
APU = Moteurs auxiliaires de puissance (Auxiliary Power Unit)
DGAC = Direction générale de l'aviation civile
CAEP = Comité de protection de l'environnement en aviation (Committee on Aviation Environmental Protection)
CDG = Paris-Charles de Gaulle
CLA = Couche limite atmosphérique
CO = Monoxyde de Carbone
CO₂ = Dioxyde de Carbone
CTFE = Centrale thermique frigorifique électrique
EASA = Agence européenne de la sécurité aérienne (European Union Aviation Safety Agency)
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
HC = Hydrocarbures
LBG = Paris-Le Bourget
LTO = Cycle atterrissage décollage (Landing Take-Off)
MTOW = Masse maximale au décollage (Maximum Take-Off Weight)
NO_x = Oxydes d'azote (NO + NO₂) exprimé en eq. NO₂
OACI = Organisation de l'aviation civile internationale
ORY = Paris-Orly
PCA = (unité d'air préconditionné (Preconditioned Air Unit)
PCNIT = Pôle national de coordination des inventaires territoriaux
PM = Particules en suspension (Particulate Matter)
PM_{nv} = Particules fines non-volatiles
SN = Indice de fumée (Smoke Number)
SO₂ = Dioxyde de Soufre
TSP = Total des particules en suspension (Total Suspended Particles)
UNFCCC = Convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques (United Nations Framework Convention on Climate Change)

Introduction

A travers sa politique environnementale et énergétique, le Groupe ADP travaille depuis plusieurs années pour améliorer la qualité de l'air.

Ainsi, pour réduire les émissions de polluants atmosphériques et alimenter les engagements pour le climat, Aéroports de Paris SA s'est fixé quatre objectifs pour la période 2016-2020 :

1. Rendre le parc de véhicules moins polluant, avec au moins 25 % de véhicules légers propres en 2020 (électriques, hybrides ou à très faibles émissions de CO₂) et déployer des bornes de recharge pour véhicules électriques dans tous les aéroports ;
2. Développer un plan de mobilité et contribuer activement aux plans interentreprises de Paris-Charles de Gaulle/Paris-Le Bourget et Paris-Orly ;
3. Réduire les émissions liées aux accès aux plateformes ;
4. Limiter les émissions des avions au sol et des véhicules d'assistance en escale.

Ces objectifs s'inscrivent dans le plan de protection de l'atmosphère de la région Ile-de-France 2018-2025.

Pour plus de détail sur nos actions de réduction des émissions de polluants atmosphériques et la politique environnementale et énergétique vous pouvez consulter [le rapport RSE 2019](#)¹ ainsi que [les engagements du Groupe ADP](#)².

Ce document présente les résultats des calculs des émissions atmosphériques des principales sources imputables à l'activité aéroportuaire des plateformes de Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget en l'état actuel des connaissances sur la base des méthodologies de références nationales ou internationales.

Les polluants atmosphériques ayant un impact sur la qualité de l'air à l'échelle locale retenus pour cet inventaire (NO_x, CO, HC, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}) sont conformes aux préconisations de l'ACNUSA³. Les calculs d'émissions de CO₂ ne sont pas présentés dans ce rapport et 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).

Sur les trois plateformes franciliennes, plusieurs sources d'émission issues des phénomènes de combustion (pour les NO_x, CO, HC, SO₂, PM₁₀ et PM_{2.5}) et des phénomènes d'abrasion (pour les PM₁₀ et PM_{2.5}) ont été identifiées :

- **Les émissions du cycle LTO des aéronefs** (émissions lors des phases de roulage, atterrissage, décollage et 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** (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 et CDGVAL) ;
- **Les émissions de centrales thermiques** (ces centrales permettent la production d'eau chaude et d'eau froide dont 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 2019 prend en compte les couples sources-polluants présentés dans le Tableau 1 suivant. Les résultats sont susceptibles d'évoluer dans les années futures en fonction de l'amélioration des connaissances sur les sources, les facteurs d'émission ainsi que sur les méthodologies appliquées faisant consensus dans la communauté scientifique.

¹ <https://user-knp0wia.cld.bz/Rapport-RSE-2019>

² <https://entrevoisins.groupeadp.fr/engagements/reduire-impact-environnement/>

³ https://www.acnusa.fr/uploads/media/default/0001/02/1515_2006-09rapport-qualite-de-lair2020vfc.pdf

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

Tableau 1: Travaux réalisés sur l'inventaire 2019 (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		
		NO _x	CO	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	HC	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Avions (CDG, ORY, LBG)	LTO	X	X	X		↗	↗	↗	X	X	↗
	APU	↗	↗	↗		↗	↗	↗	NC		
	Essai moteur								NC		
Engins spéciaux (CDG, ORY)	GSE (dont GPU)	X	X			X		X			
Trafic routier (CDG)	Zone Publique	X	X	X		X		X			
	Zone Réservee	X									
Trafic ferroviaire (CDG)	RER	NC							X	X	X
	TGV	NC							X	X	X
	Val	NC							↗	↗	↗
Centrales Thermiques (CDG, ORY)		X	X	X	X	NC					

Pour chacun des couples sources d'émissions-polluant identifiés le type d'approche pour le calcul des émissions a été déterminé en prenant en compte les méthodes de calculs les plus avancées décrites dans la littérature ainsi que le niveau de disponibilité des données d'entrées. On compte trois niveaux d'approche recensés par l'OACI (Cf. Tableau 2) : simple, avancée, sophistiquée.

Tableau 2 : Caractéristique des différents niveaux d'approche pour un inventaire d'émissions d'après le guide de l'OACI 9889⁵.

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

Le travail mené ces dernières années par le Laboratoire du Groupe ADP en collaboration avec des services internes et partenaires externes a permis de nombreuses avancées dans les connaissances des sources (facteurs et chroniques d'émissions, spatialisation...).

Les perspectives de développement et d'amélioration pour tendre vers une approche fine et sophistiquée de l'inventaire des émissions du Groupe ADP sont présentées dans la partie IX à la fin de ce rapport.

⁵ https://www.icao.int/publications/Documents/9889_cons_en.pdf

I. Données d'entrées et synthèse du trafic avion

Les émissions associées aux aéronefs et aux engins de piste au poste avion sont calculées à partir des données de trafic et du type de flotte d'aéronef propre à chacune des trois plateformes franciliennes. Les sources et le type de donnée utilisées sont présentés ci-dessous.

a. Type de données de trafic

Les émissions présentées dans ce rapport sont basées sur le nombre de mouvements commerciaux publié par le Groupe ADP⁶. Pour 2019, le nombre de mouvement avion commerciaux par plateforme est présenté dans le Tableau 3 suivant :

Tableau 3: Nombre de mouvements avion par plateforme en 2019

Paris-Charles de Gaulle	498 175
Paris-Orly	218 349
Paris- Le Bourget	54 646

- Pour chaque mouvement, le Laboratoire du Groupe ADP exploite les informations suivantes :
 - Horodatage : Date, heure, minute (atterrissage/décollage/entrée et sortie du parking avion) ;
 - Type de mouvement (Arrivée, Départ) ;
 - Compagnie ;
 - Caractère du vol (Commercial, Non Commercial) ;
 - Etat du vol (Réalisé, Dérouté, Normal, Retour forcé, Avancé,) ;
 - Type de vol (Passager, Cargo, Technique, Poste...) ;
 - Terminal et poste de stationnement ;
 - Type porteur selon la classification : JUMBO, HEAVY, MEDIUM, LIGHT (Cf. 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").

⁶ <http://www.parisaeroport.fr/groupe/finances/rerelations-investisseurs/trafic>

b. Synthèse du trafic aérien par plateforme

L'évolution du nombre de mouvements à Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget depuis 2015 est présenté dans la Figure 1.

PLATEFORME ● CDG ● LBG ● ORY

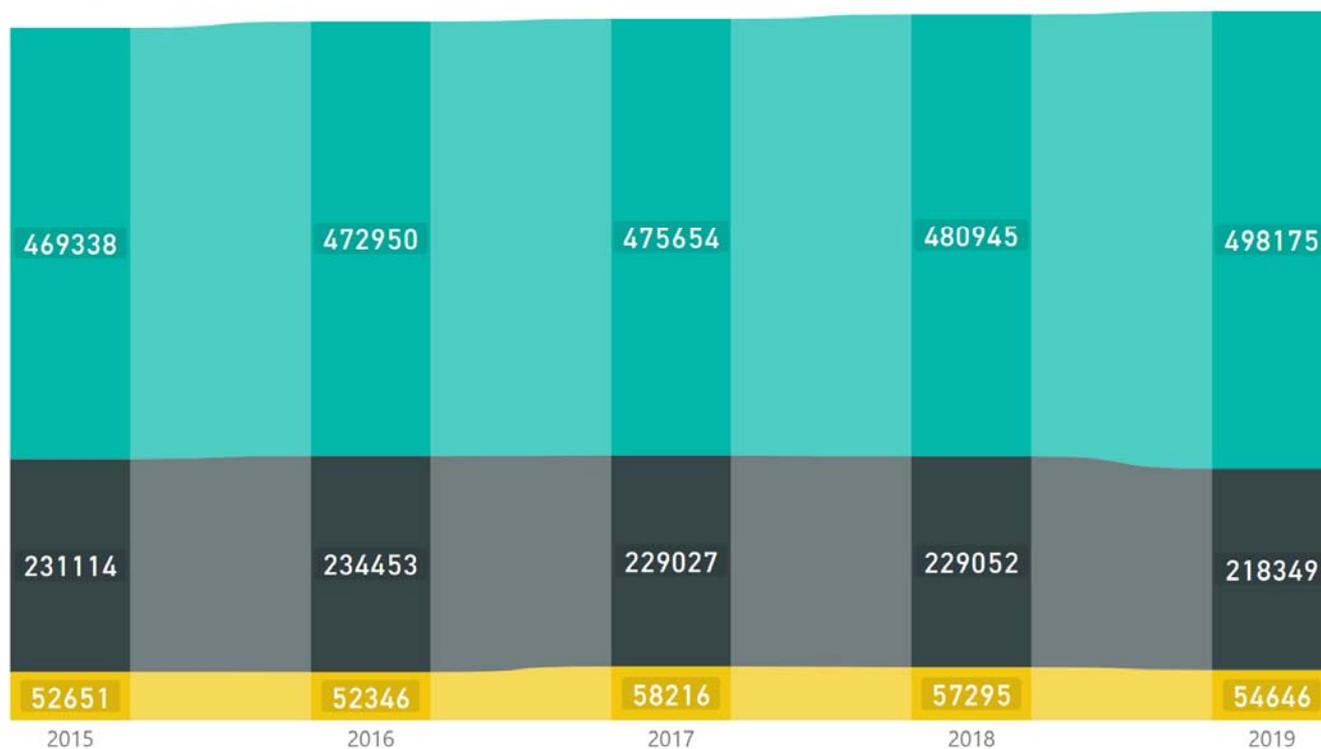


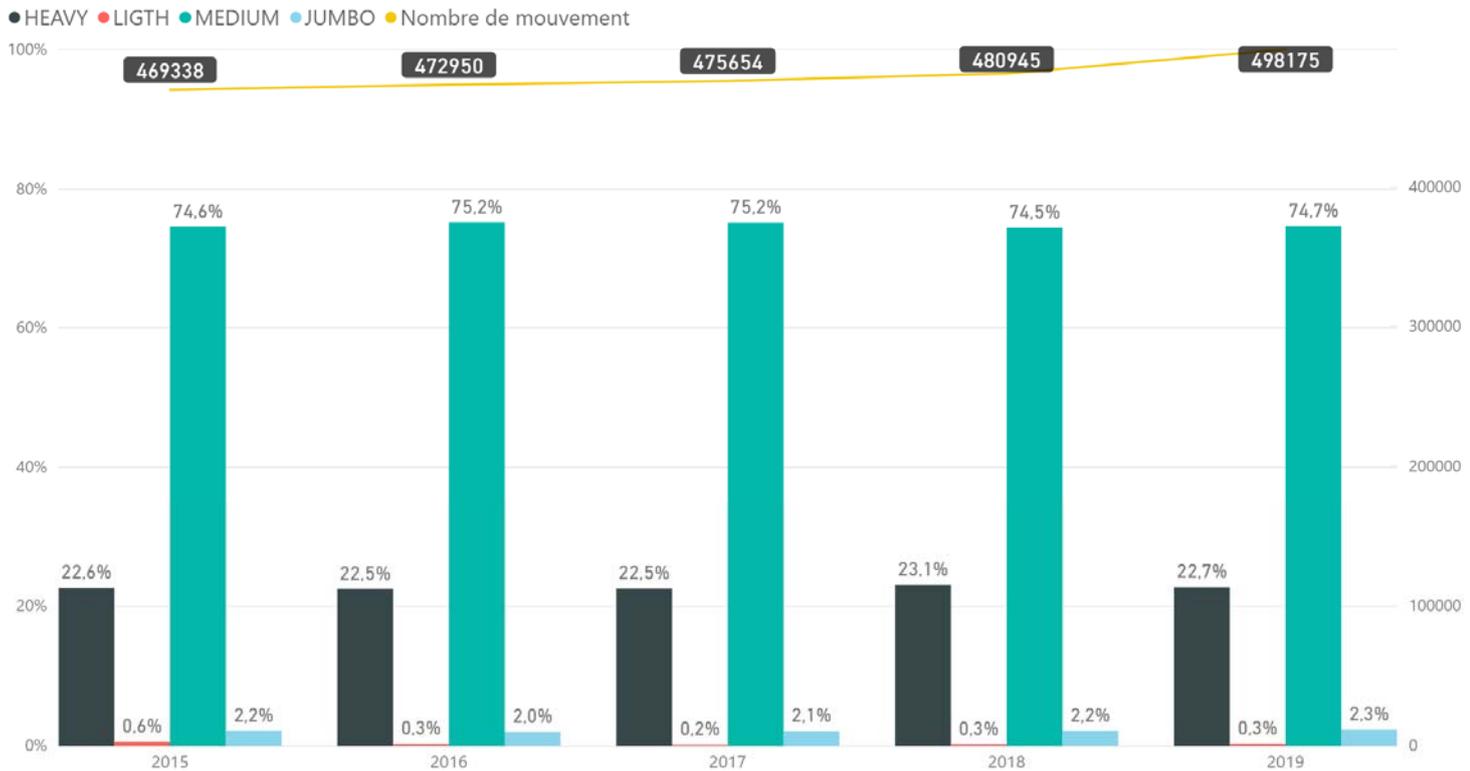
Figure 1 : Evolution pluriannuelle du nombre de mouvements sur les plateformes de Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget depuis 2015

A l'exception du nombre de mouvements (Cf. Figure 1), aucune synthèse des données du trafic aérien n'est présentée pour la plateforme de Paris-Le Bourget. En effet, compte tenu des spécificités de cette plateforme (aviation d'affaire) le nombre de passagers, le détail des catégories avion, l'heure de la sortie et de l'entrée du point de parking ainsi que l'heure de levé et de touché des roues ne sont pas répertoriés dans la base de données trafic utilisée par le Laboratoire du Groupe ADP. De ce fait, pour la plateforme de Paris-Le Bourget les temps de roulage ne peuvent pas être calculés vol à vol, ils sont estimés⁷ en moyenne à 5 minutes à l'arrivée et 5 minutes au départ.

Les données de trafic aérien utilisées pour les calculs des émissions à Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly sont synthétisées dans les Figure 2 et Figure 3.

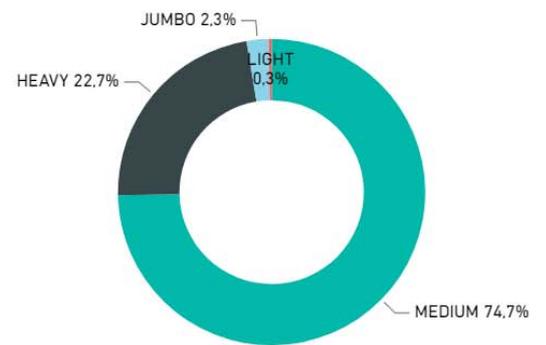
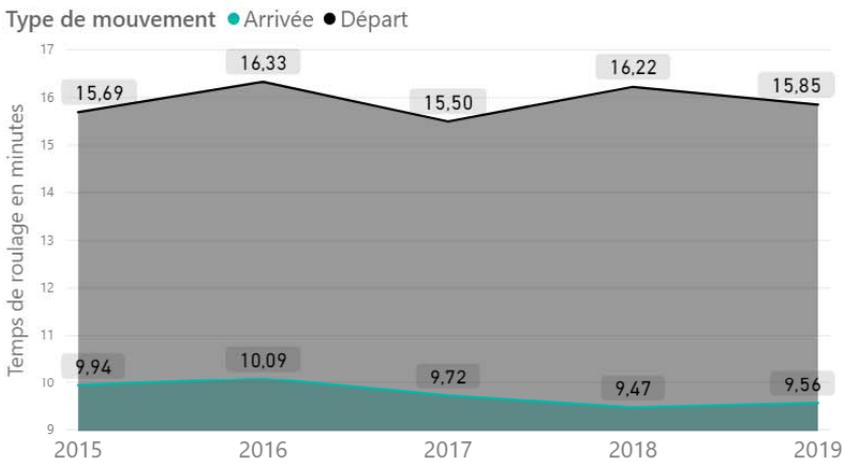
⁷ Estimation d'après un groupe de travail Airparif/DGAC/Groupe ADP

Répartition du nombre de mouvements par type porteur à CDG

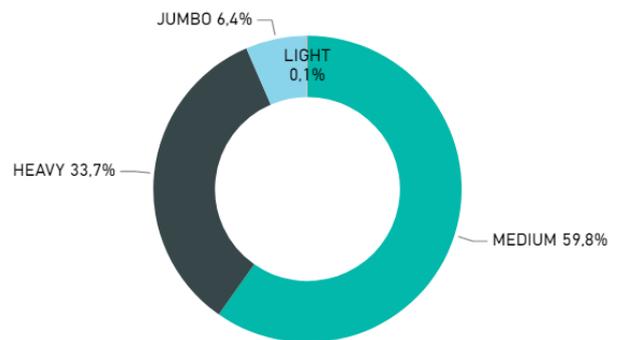


Evolution des temps de roulages moyen en minutes (arrivée et départ)

Pourcentage de mouvements par type de porteur en 2019



Pourcentage de passagers par type de porteurs en 2019



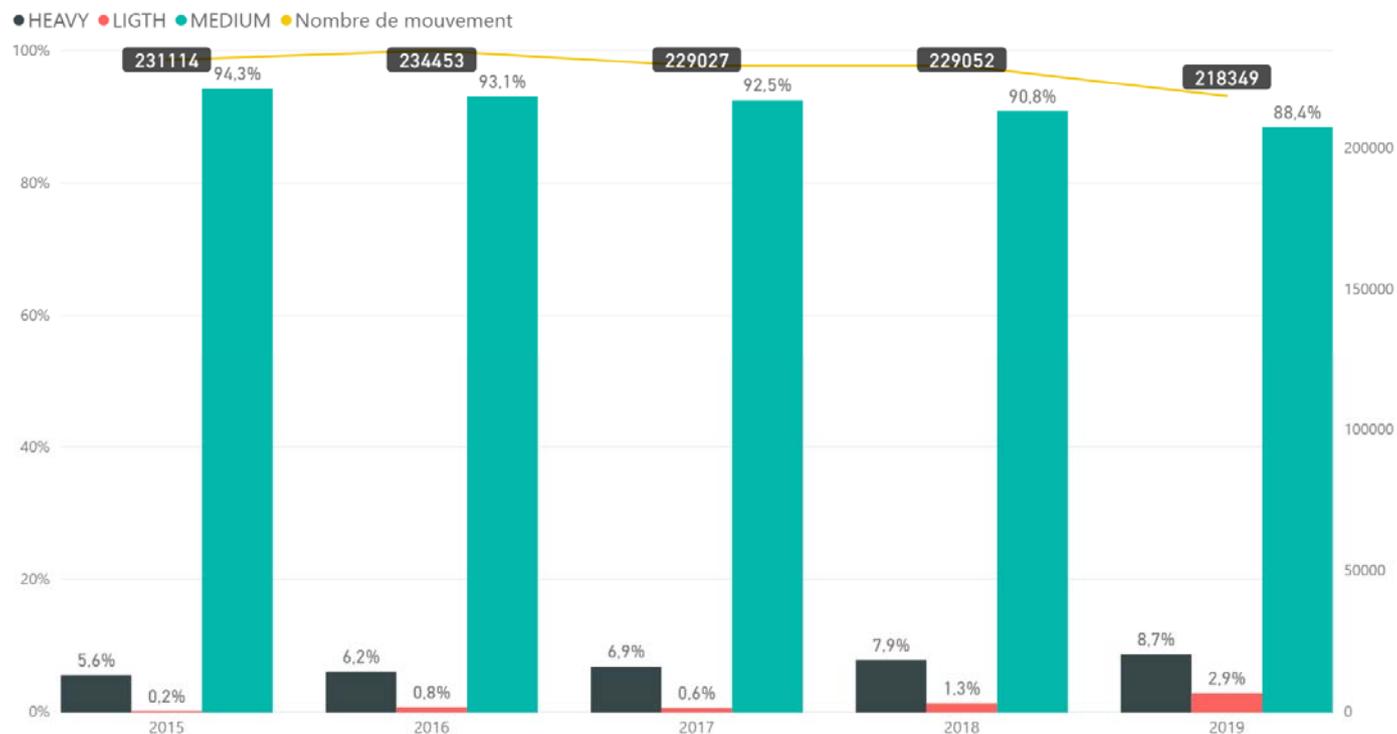
Nombre de mouvements et nombre de passagers par année

Année	Nombre de mouvements commerciaux	Nombre de passagers
2015	469338	65766986
2016	472950	65933145
2017	475654	69471442
2018	480945	72229723
2019	498175	76150007

Figure 2: Synthèse des données de trafic pour Paris-Charles de Gaulle

La liste des avions associés aux types de porteurs MEDIUM, HEAVY, JUMBO, LIGHT est présentée en Annexe 1.

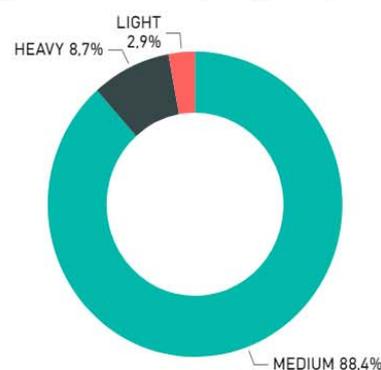
Répartition du nombre de mouvements par type porteur à ORLY



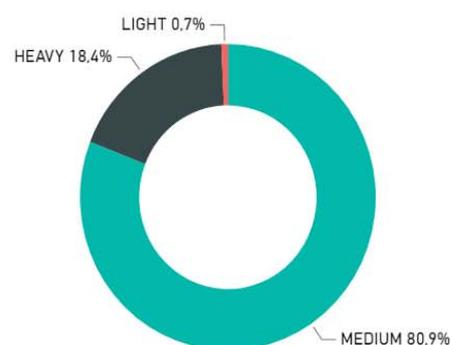
Evolution des temps de roulages moyen en minutes (arrivée et départ)



Pourcentage de mouvements par type de porteur en 2019



Pourcentage de passagers par type de porteurs en 2019



Nombre de mouvements et nombre de passagers par année

Année	Nombre de mouvements commerciaux	Nombre de passagers
2015	231114	29664993
2016	234453	31237865
2017	229027	32042475
2018	229052	33120685
2019	218349	31853049

Figure 3: Synthèse des données de trafic pour Paris-Orly

La liste des avions associés aux types de porteurs MEDIUM, HEAVY, JUMBO, LIGHT est présentée en Annexe 1.

II. Le cycle LTO

Le cycle LTO prend en compte toutes les émissions issues des réacteurs principaux des avions au niveau des plateformes aéroportuaires. Par convention, les émissions du cycle LTO considérées dans l'inventaire sont celles qui ont un impact sur la qualité de l'air à l'échelle locale, soit en dessous de la couche limite atmosphérique. La hauteur de celle-ci a été fixée par l'OACI à 915m (3 000 ft). En considérant des pentes et des vitesses homogènes, cette hauteur détermine la durée de chacune des phases de vol du cycle LTO ainsi que la distance maximale des émissions prises en compte dans l'inventaire par rapport à la plateforme. (Cf. Figure 4).

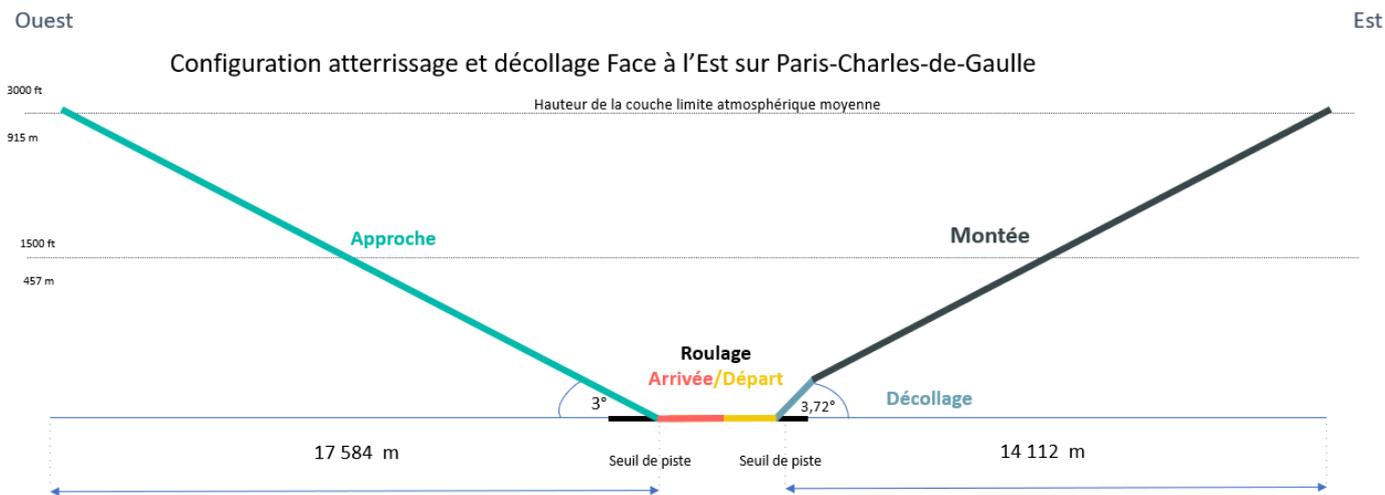


Figure 4 : Exemple pour un cycle LTO en configuration d'atterrissage et décollage face à l'Est à Paris-Charles-de-Gaulle.

Les émissions de polluants issues des réacteurs des aéronefs sont calculées en fonction des différentes phases du cycle LTO. On retrouve les phases d'approche, de roulage au sol (arrivée/départ), de montée et de décollage. Les émissions de chaque phase sont calculées en tenant compte de sa durée, de la puissance des moteurs et de leur type.

a. Méthodologies de calculs et facteurs d'émission

Le Tableau 4 présente les différentes méthodologies de calcul possibles, pour calculer les émissions du cycle LTO en fonction de la complexité d'approche.

Tableau 4 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du cycle LTO (en gras les approches retenues pour l'inventaire 2019)

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 types avions		Nombre de mouvement par type avions-type moteurs	Nombre réel de mouvements par aéronefs (immatriculation)
Temps des phases du Cycle LTO	Base de données forfaitaires de l'OACI (Phases "Vol")		Utilisation des valeurs réelles pour chaque aéronef pour une ou plusieurs phases du cycle LTO (Phases "roulage")	Utilisation des valeurs réelles pour chaque aéronef pour l'ensemble des phases du cycle LTO
Facteurs d'émission	Emissions forfaitaires par cycle LTO (PM abrasion)	Facteurs d'émission associés à un type avion	Facteurs d'émission associés à un type moteur (NO_x, CO, HC, SO₂, PM combustion)	Base de données performante avec les données moteur actuelles et incluant les conditions ambiantes

L'application de ces niveaux d'approches permet de réaliser le calcul des émissions pour un nombre de mouvements proche du nombre total de mouvements en base. L'application d'une règle de proportionnalité sur les émissions calculées, permet d'estimer les émissions du trafic associées aux chiffres officiels en prenant en compte les mouvements

enregistrés mais dont l'absence de certaines informations ne permettait pas le calcul. Une synthèse des hypothèses établies et des facteurs utilisés pour réaliser le calcul des émissions du cycle LTO 2019 est présentée en Annexe 2.

b. Résultats des calculs d'émissions

Les émissions issues de la combustion lors du cycle LTO sont calculées par mouvements ("Arrivée" ou "Départ") selon la méthodologie de calcul dite simplifiée (option B) décrite dans le guide OACI 9889⁸ avec les temps de roulage vol à vol (Cf. Figure 5, Figure 7 et Figure 9). Les émissions du cycle LTO ont également été calculées selon les temps de roulage moyens de l'OACI⁹ et sont présentées en Annexe 6. Les émissions de particules issues de l'abrasion (pneus et freins) sont calculées par cycle LTO selon une méthodologie forfaitaire du CITEPA (approche simple). L'application de ces méthodologies de calculs détaillée en Annexe 2, 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 parisiennes.

• Paris-Charles de Gaulle

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-Charles de Gaulle est présentée dans les Figure 5 et Figure 6. (Tableau chiffré en Annexe 3)



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

⁸ (Doc 9889 OACI, 2011) pages 3-A1-12/13/14

⁹ (Doc 9889 OACI, 2011) Table 3-A1-1 → Temps de roulage = 26 minutes (7 minutes à l'arrivée et 19 minutes au départ)



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

A Paris-Charles de Gaulle, la tendance depuis 2015 est marquée par une augmentation des émissions de NO_x, SO₂, PM₁₀, et PM_{2.5} (combustion et abrasion). A l'inverse entre 2018 et 2019, les émissions d'HC ont diminués et les émissions de CO n'ont pas augmenté significativement par rapport à l'augmentation du nombre de mouvement (+0,04%). Les tendances s'expliquent par le fait que les HC et le CO sont majoritairement émis lors des phases de roulage, tandis que les NO_x, SO₂, PM₁₀ et PM_{2.5} sont émis majoritairement lors des autres phases du cycle LTO. De ce fait, les émissions de NO_x, SO₂, PM₁₀ et PM_{2.5} sont directement corrélées au nombre de mouvements annuel tandis que les émissions de HC et de CO sont en proportion plus significativement impactées par les variations des temps de roulage moyens.

Ainsi, l'augmentation des émissions de NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, (combustion et abrasion) entre 2015 et 2019, s'explique par l'augmentation du nombre de mouvement (+ 28 837) tandis que la diminution les émissions de HC et l'évolution des émissions de CO s'explique en parallèle par la diminution des temps de roulage moyens entre 2015 et 2019 (-1,1% du temps de roulage en 2019 par rapport à 2018).

• Paris-Orly

L'évolution pluriannuelle des émissions issues de la combustion (HC, NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2.5}) et de l'abrasion (TSP, PM₁₀, PM_{2.5}) lors du cycle LTO à Paris-Orly est présentée dans les Figure 7 et Figure 6 suivantes (tableau chiffré en Annexe 4).



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

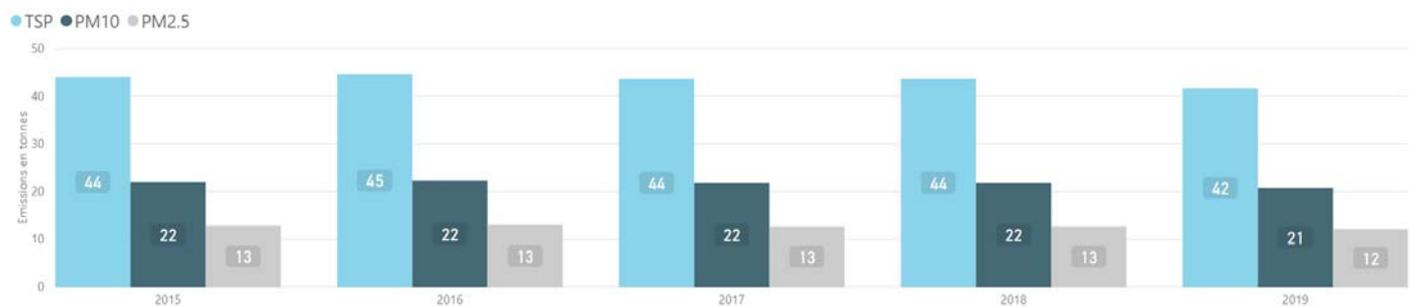


Figure 8 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM₁₀, PM_{2.5}) à Paris-Orly

Les variations interannuelles sont dépendantes du nombre de mouvements, de la composition de la flotte de moteur et d'avion pour l'année considérée et des temps de roulage. A Paris-Orly, l'année 2019 est marquée par une baisse significative du nombre de mouvements (-10 702 mouvements) et donc par une diminution des émissions de PM₁₀, PM_{2.5} et NO_x. Néanmoins, bien que les émissions globales du cycle LTO pour ces polluants aient diminué entre 2018 et 2019, la baisse n'est pas aussi significative qu'attendue. On remarque également l'augmentation des émissions d'HC et de CO, malgré la diminution du trafic en 2019.

L'évolution de ces émissions s'explique par l'augmentation des temps de roulage moyen sur Paris-Orly toutes catégories avion confondus (+7,4 % du temps de roulage en 2019 par rapport à 2018). 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.

- **Paris-Le Bourget**

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-Le Bourget est présentée dans les Figure 9 et Figure 10 suivantes (tableau chiffré en Annexe 5).

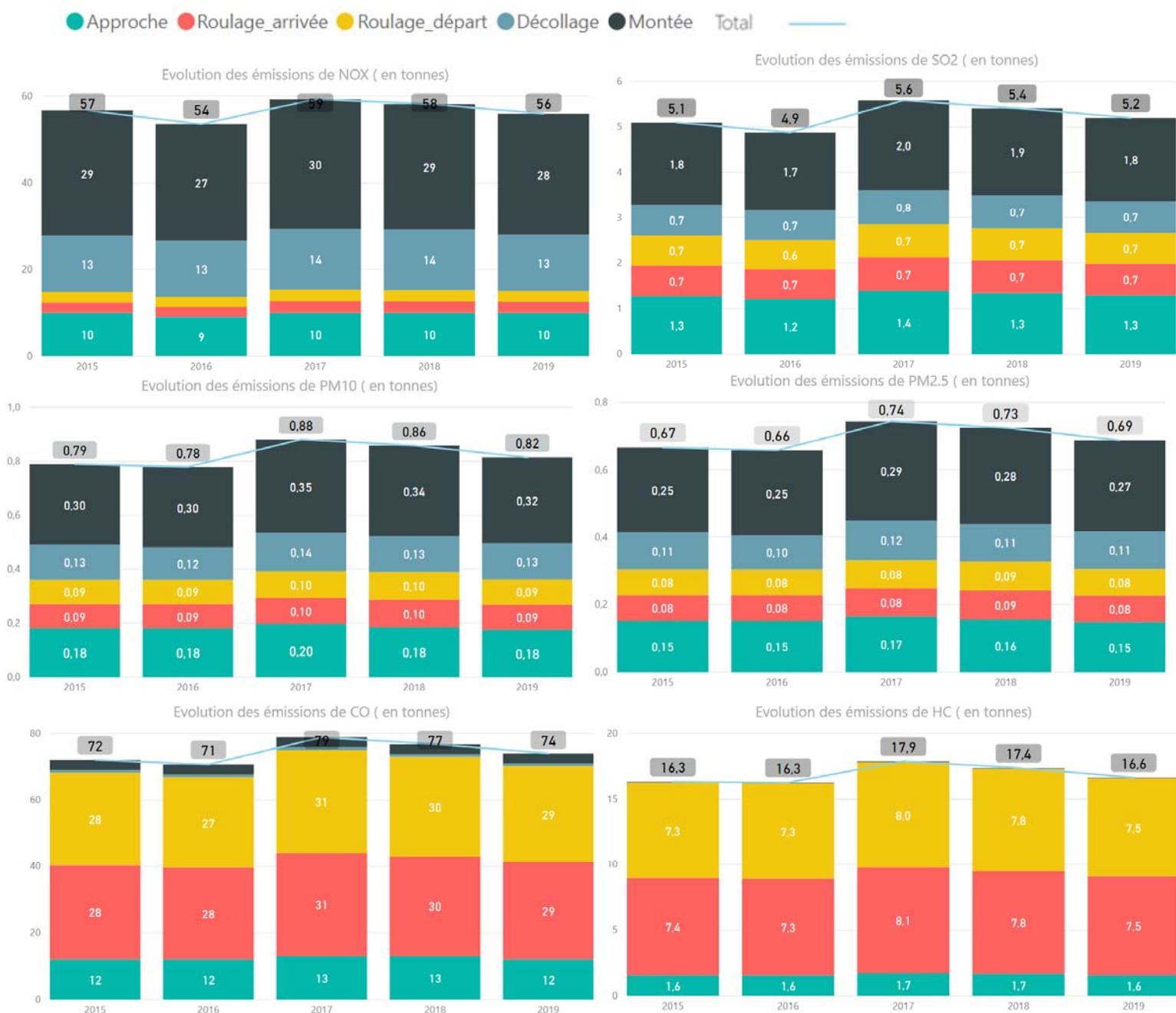


Figure 9 : Evolution des émissions par polluant (HC, NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2.5}) détaillée par phase du cycle LTO à Paris-Le Bourget

● TSP ● PM10 ● PM2.5

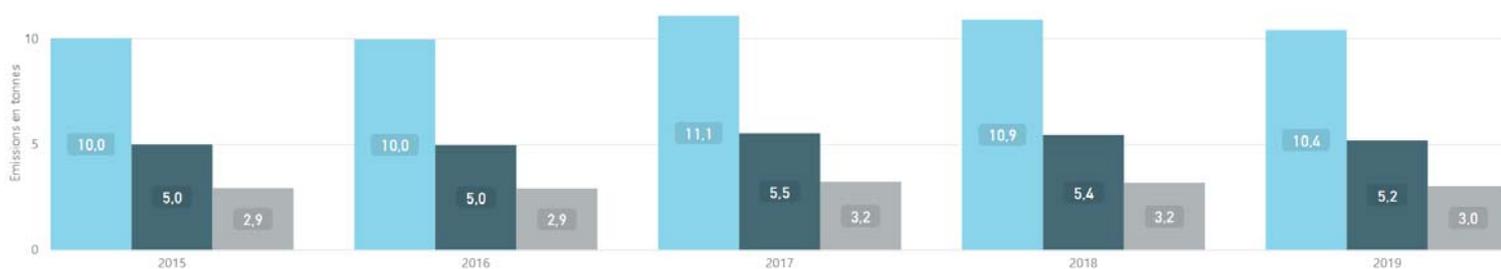


Figure 10 : Evolution annuelle des émissions de polluants issues de l'abrasion (TSP, PM10, PM2.5) à Paris-Le Bourget

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 différence entre les émissions du roulage à l'arrivée et au départ.

L'année 2019 est marquée par une baisse significative du nombre de mouvements (-2 649) et donc par une diminution des émissions de NO_x, CO, SO₂ et HC, PM₁₀ et PM_{2.5}. Les émissions du cycle LTO à Paris-Le Bourget sont directement corrélées au nombre de mouvement.

c. Comparaison des méthodologies pour les émissions des PM₁₀ issus de la combustion

La méthodologie de calcul, pour déterminer les émissions de PM₁₀ issus de de la combustion, qui a été retenue pour l'inventaire 2019 des plateformes Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly est une méthode avancée, dite FOA 3, issue des groupes de travail de l'OACI¹⁰ et détaillée en Annexe 2. C'est la première année où cette méthodologie est mise en place pour le calcul des émissions de PM₁₀.

Pour les inventaires précédents les émissions étaient calculées selon une méthode plus forfaitaire, au moyen de facteurs issus du guide OMINEA du CITEPA (Version 2017). Les facteurs d'émission du CITEPA des PM₁₀ issus de la combustion ont été mis à jour dans la version 2019 du rapport OMINEA¹¹.

Pour comparer l'impact du changement de méthodologie en 2019, les émissions des PM₁₀ ont été déterminées selon trois approches de calculs différentes :

- Méthodologie du CITEPA (Facteur Version 2017),
- Méthodologie du CITEPA (Facteur version 2019),
- Méthodologie FOA 3 de l'OACI.

La comparaison des résultats d'émissions de PM₁₀ pour le cycle LTO pour les différentes méthodes de calcul entre 2017 et 2019, à Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly est présentée dans la Figure 11 et la Figure 12 suivantes (tableaux chiffrés en Annexe 7 et Annexe 8). En l'absence de données trafics détaillés, les émissions de PM₁₀ selon la méthode avancée FOA3 de l'OACI n'ont pas pu être calculées à Paris-Le Bourget, la méthodologie retenue pour cette plateforme est la méthode du CITEPA 2019.

¹⁰Doc 9889 OACI (p 3-A1-41 à 3-A1-50)

¹¹ <https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/omine/OMINEA2019.pdf>

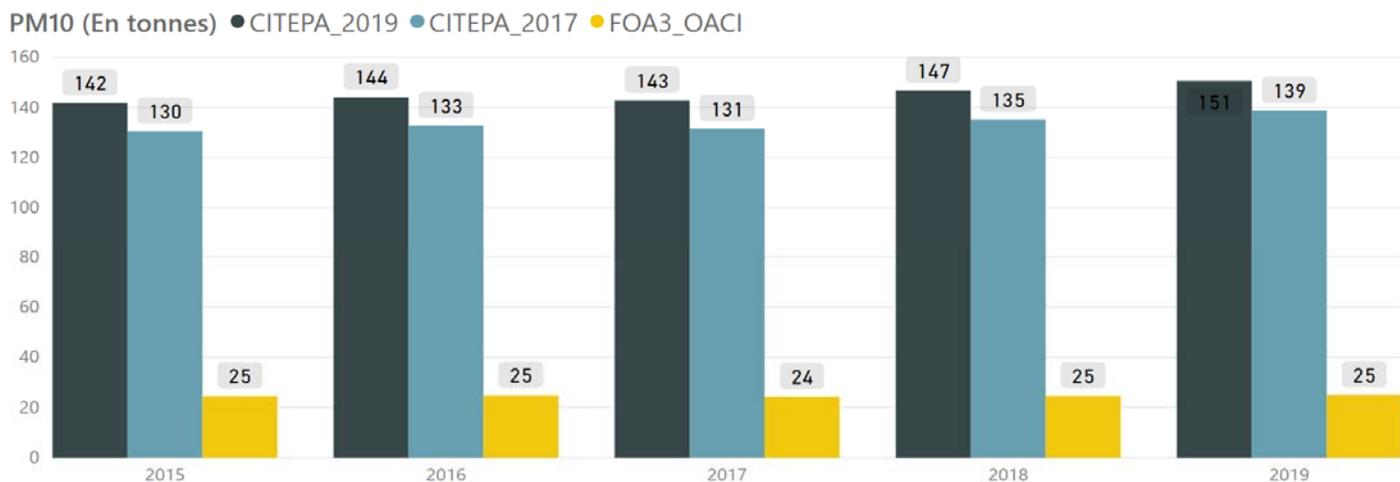


Figure 11: Comparaison des émissions de PM₁₀ selon différentes méthodologies (OACI_FOA3, CITEPA 2019 et CITEPA 2017) à Paris-Charles de Gaulle

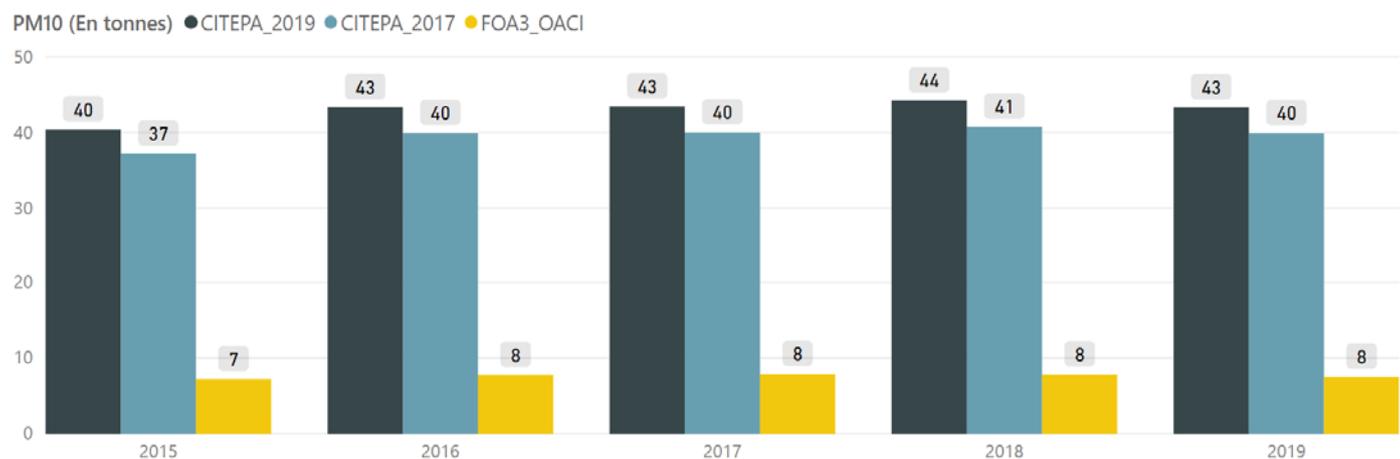


Figure 12 : Comparaison des émissions de PM₁₀ selon différentes méthodologies (OACI_FOA3, CITEPA 2019 et CITEPA 2017) à Paris-Orly

La colonne "PM10_CITEPA_2017" correspond aux résultats d'émission de PM₁₀ selon la méthodologie de référence des précédents inventaires (méthodologie CITEPA : facteurs guide OMINEA version 2017). La colonne "PM10_CITEPA_2019" correspond aux résultats d'émission de PM₁₀ selon la méthodologie CITEPA après mise à jour des facteurs d'émission (facteurs guide OMINEA version 2019). La colonne "PM10_FOA3_OACI" correspond aux résultats des émissions de PM₁₀ selon la méthodologie avancée FO3 de l'OACI, retenue pour l'inventaire 2019.

Les émissions de PM₁₀ sont supérieures de 8,6% avec la méthodologie CITEPA (version 2019) par rapport à la méthode de référence (version 2017). La mise à jour des facteurs du CITEPA, met en évidence une correction majorante des facteurs d'émission.

Les émissions de PM₁₀ diminuent de près de 83% avec la méthodologie FOA3 de l'OACI par rapport à la méthodologie du CITEPA (Version 2019). La méthode de calcul FOA3 de l'OACI, après comparaison des résultats avec d'autres organismes, a été adoptée par le Laboratoire du Groupe ADP pour le calcul des émissions de PM₁₀. Cette méthode est plus complexe et plus précise car elle prend en compte les paramètres moteurs propres à chaque avion et permet de calculer les émissions vol à vol (Cf. Annexe 2).

III. 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. La puissance des moteurs APU propre à chaque aéronef (donnée 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 2012¹². 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 substitutions à l'APU)

a. Méthodologies de calculs et facteurs d'émission

En fonction du niveau de connaissance et des informations disponibles, différentes approches de calcul peuvent être réalisées pour déterminer les émissions des APU au poste. Le Tableau 5 indique les différentes méthodologies de calcul possibles, pour calculer les émissions des APU au poste en fonction de la complexité d'approche.

Tableau 5: Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des APU au poste (**en gras les approches retenues pour l'inventaire 2019 pour Paris-Orly, Paris-Charles de Gaulle et Paris-Le Bourget -en vert les améliorations apportées par rapport à l'inventaire 2018**)

Ressources	Approche simple	Approche avancée		Approche sophistiquée
		Paris-Le Bourget	Paris-Charles de Gaulle Paris-Orly	
APU	Utilisation de facteurs d'émission forfaitaire et des temps d'utilisation réglementaires (Cf. Arrêté du 27 juillet 2012 qui réglemente le temps d'utilisation maximum de l'APU, par type de poste et type d'aéronefs)	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation de facteurs d'émission pour différentes catégories avion et différentes phases moteur de l'APU Utilisation de temps moyens d'utilisation de l'APU par plateforme, par type de mouvements et par type avion. 	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation des facteurs d'émission des modèles de moteur APU associés par avion. Utilisation de temps moyens d'utilisation de l'APU par plateforme, par type de mouvements et par type avion. 	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

Le niveau de connaissance étant différent selon les plateformes, une méthode spécifique a été établie pour la plateforme de Paris-Le Bourget. L'application de ces approches avancées permet d'estimer les émissions des APU au poste en fonction des types avions pour des temps d'utilisation moyens propres à chacune des plateformes franciliennes.

Lorsque des données sont manquantes, incomplètes ou aberrantes, des hypothèses sont établies afin de pouvoir réaliser le calcul d'émissions, en privilégiant lorsque c'est évaluable, des éléments majorant les émissions lors du calcul final. Différents paramètres et hypothèses, ont été pris en compte pour le calcul des émissions 2019. Une synthèse des hypothèses établies et des facteurs utilisés pour réaliser le calcul des émissions des APU est présentée en Annexe 9 et Annexe 10.

¹² <https://www.legifrance.gouv.fr/orf/id/JORFTEXT000026257685/>

b. Résultats des calculs d'émissions

Pour Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly, les émissions des APU au poste sont calculées par mouvements ("Arrivée" ou "Départ") selon la méthodologie de calcul avancée basée sur l'étude de Hong-Kong¹³ 2014. Ainsi, pour l'inventaire 2019 comme en 2018, plutôt que de considérer uniquement les 2 types d'APU déterminés par l'approche simple de l'OACI, l'association des types avions avec une trentaine de modèles différents (et facteurs d'émission associés) a été réalisée sur la base d'informations collectées dans la littérature (Cf. Annexe 11).

Pour Paris-Le Bourget les émissions issues des APU au poste sont calculées par mouvements ("Arrivée" ou "Départ") selon la méthodologie de calcul avancée décrite dans le doc 9889 de l'OACI. Ainsi, pour l'inventaire 2019, plutôt que de considérer uniquement les 2 types d'APU déterminés par l'approche simple de l'OACI, les émissions ont été calculées selon quatre catégories avions différentes (Cf. Annexe 12). Cette approche permet de prendre en compte plus finement la spécificité du trafic avion de Paris-Le Bourget où la majorité des avions qui y circulent sont de type Business Jet.

Selon ces méthodologies de calcul, l'évolution pluriannuelle des émissions des APU au poste (HC, 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 Annexe 13, Annexe 14 et Annexe 15).

• Paris-Charles de Gaulle

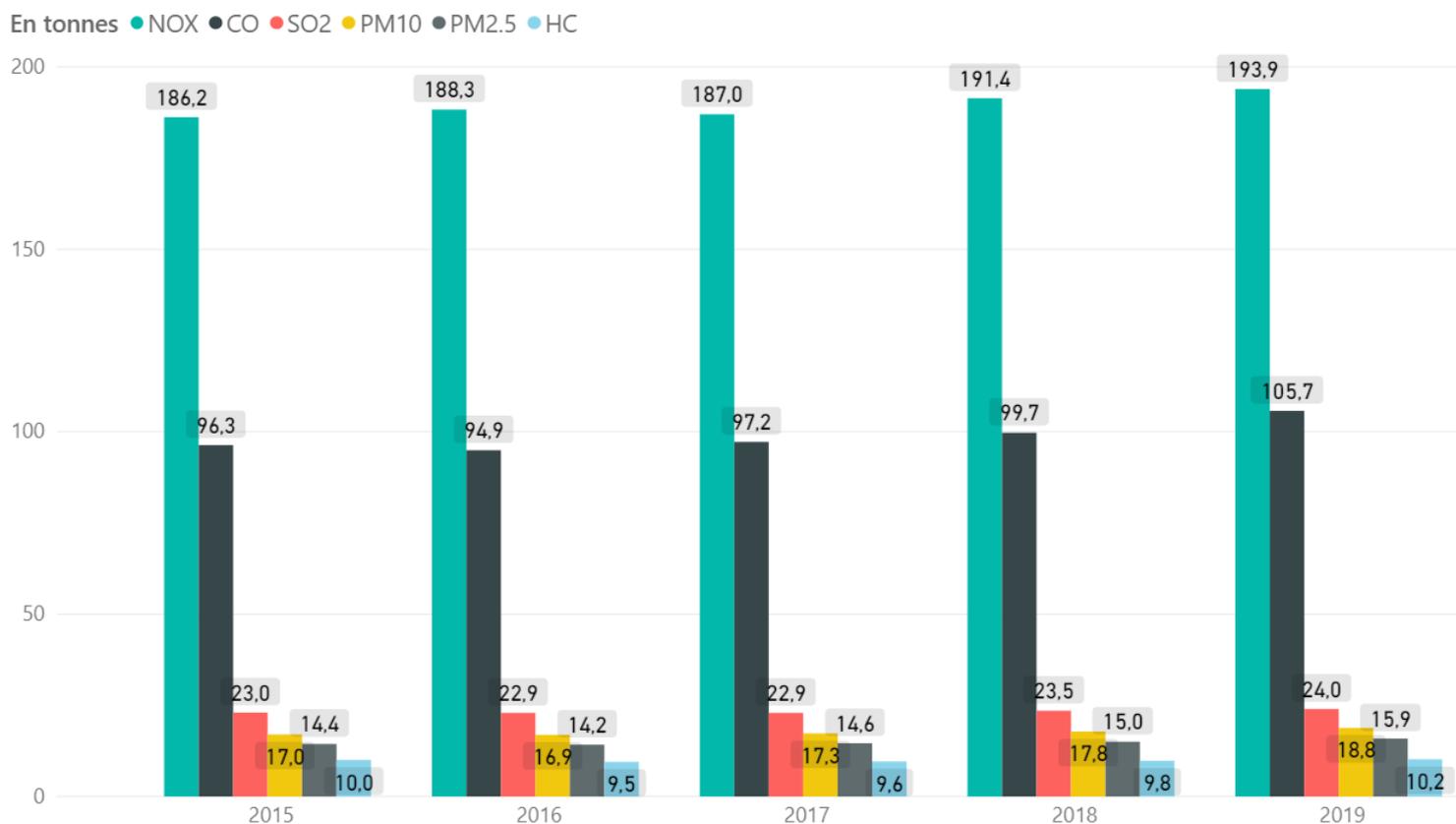


Figure 13 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO_x, HC, CO, PM₁₀, PM_{2.5}, et SO₂ (en tonnes) des APU au poste à Paris-Charles de Gaulle

¹³ https://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_2232014/html/Appendix%205.3.4-4.pdf

• **Paris-Orly**

En tonnes ● NOx ● CO ● SO2 ● PM10 ● PM2.5 ● HC

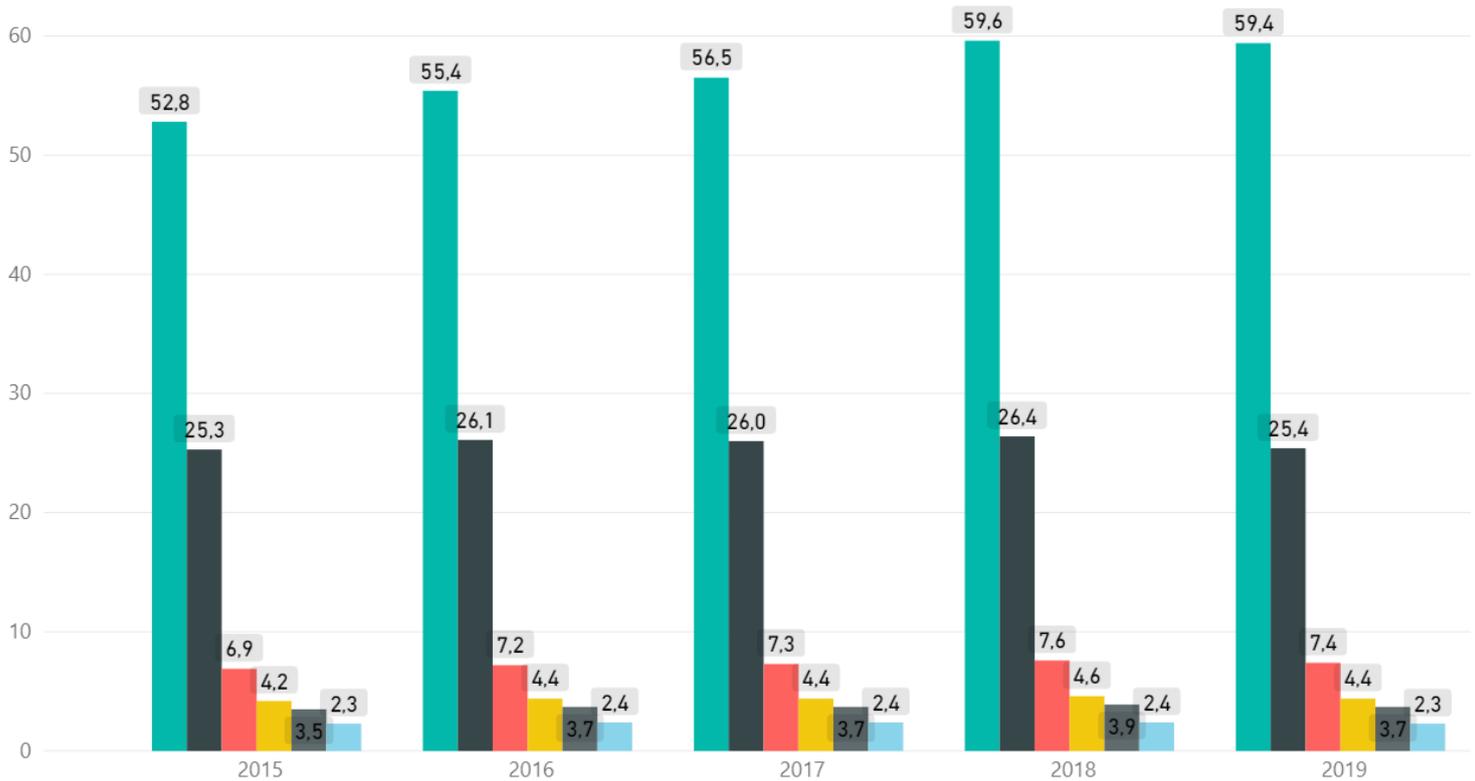


Figure 14 : Evolution pluriannuelle des émissions de NOx, HC, CO, PM10, PM2.5, et SO2 (en tonnes) des APU au poste à Paris-Orly

• **Paris-Le Bourget**

En tonnes ● NOx ● CO ● SO2 ● PM10 ● PM2.5 ● HC

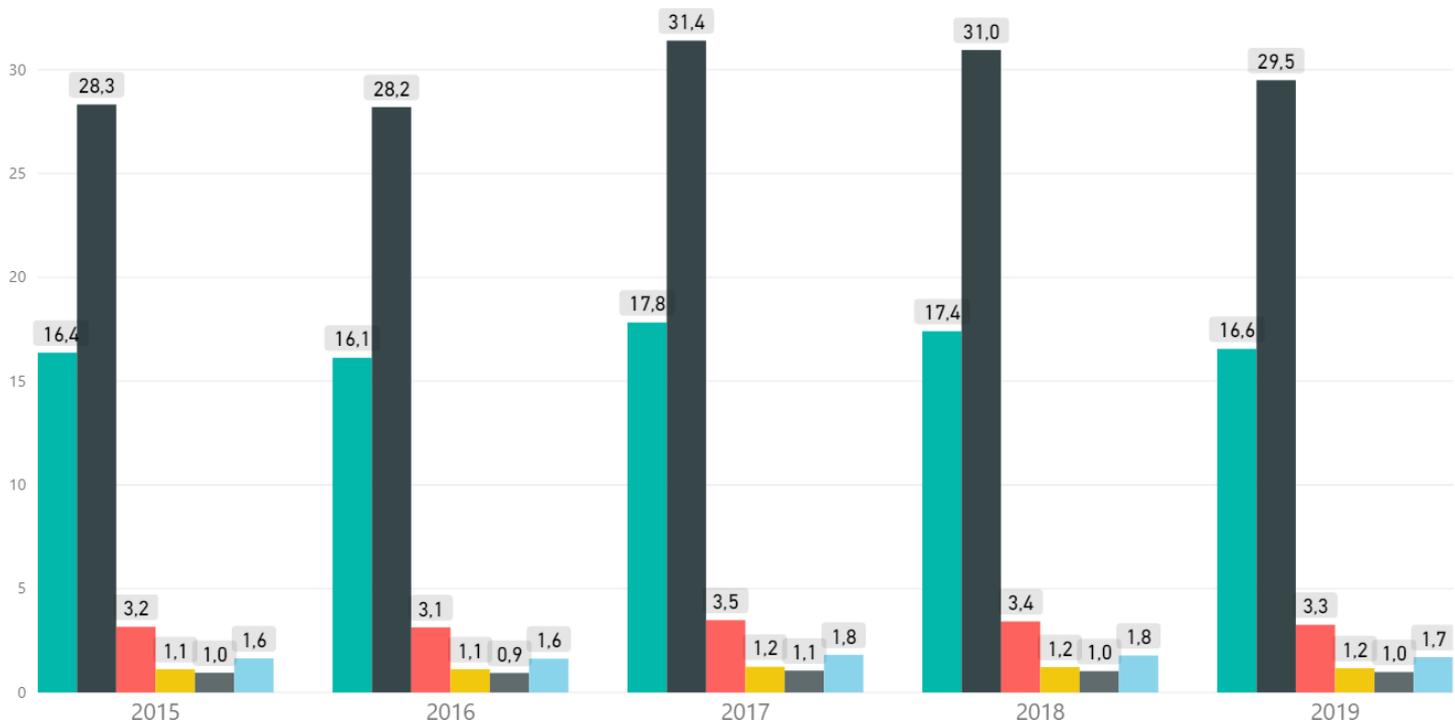


Figure 15 Evolution pluriannuelle des émissions de NOx, HC, CO, PM10, PM2.5, et SO2 (en tonnes) des APU au poste à Paris-Le Bourget

L'évolution pluriannuelle des émissions de HC, NOx, CO, PM10, PM2.5, SO2 des APU au poste est directement corrélée à l'évolution du trafic avion sur chacune des plateformes franciliennes.

En proportion, les émissions de NO_x sont plus importantes à Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly, tandis que les émissions CO sont plus importantes à Paris-Le Bourget. Cette répartition des émissions s'explique par le type de flotte (une majorité d'avions de type Business Jet), rencontrée à Paris-Le-Bourget. En effet, les facteurs d'émission (Cf. Annexe 12) pour le CO sont quatre fois plus importants pour un avion de type business Jet (0.805 kg/h) que pour avion de type larger (0.192 kg/h). Tandis qu'à l'inverse pour les NO_x, les avions de type business Jet ont un facteur d'émission sept fois plus faible (0.530 kg/h) que les avions de type larger (2.555kg/h).

Les émissions des APU aux postes calculées selon différentes méthodologies existantes sont comparées au paragraphe suivant.

c. Comparaison des différentes méthodologies pour les émissions des APU

Pour Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget, en l'absence de temps d'observation, les émissions des APU au poste étaient calculées les années précédentes avec les temps d'utilisation maximums réglementaires de l'arrêté du 27 juillet 2012. Pour l'inventaire des émissions 2019, le temps retenu comme le plus représentatif des conditions d'exploitation des plateformes de Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget est le temps médian¹⁴ par plateforme, par mouvement et par type avion présenté dans l'étude menée par l'ACNUSA en 2019¹⁵ (colonne jaune dans la Figure 16).

Pour les trois plateformes franciliennes les approches de calcul avancées (Méthode_V02) ont été réalisées pour différents temps d'utilisation (Cf. Annexe 9 et Annexe 10). La comparaison de l'impact de ces temps d'utilisation sur les émissions des APU au poste, est présentée dans la Figure 16.

Méthode avancée V02 ● Temps_Arrêté ● Temps_OACI ● Temps_observation_ADP ● Temps DGAC ● Temps_observation_ACNUSA

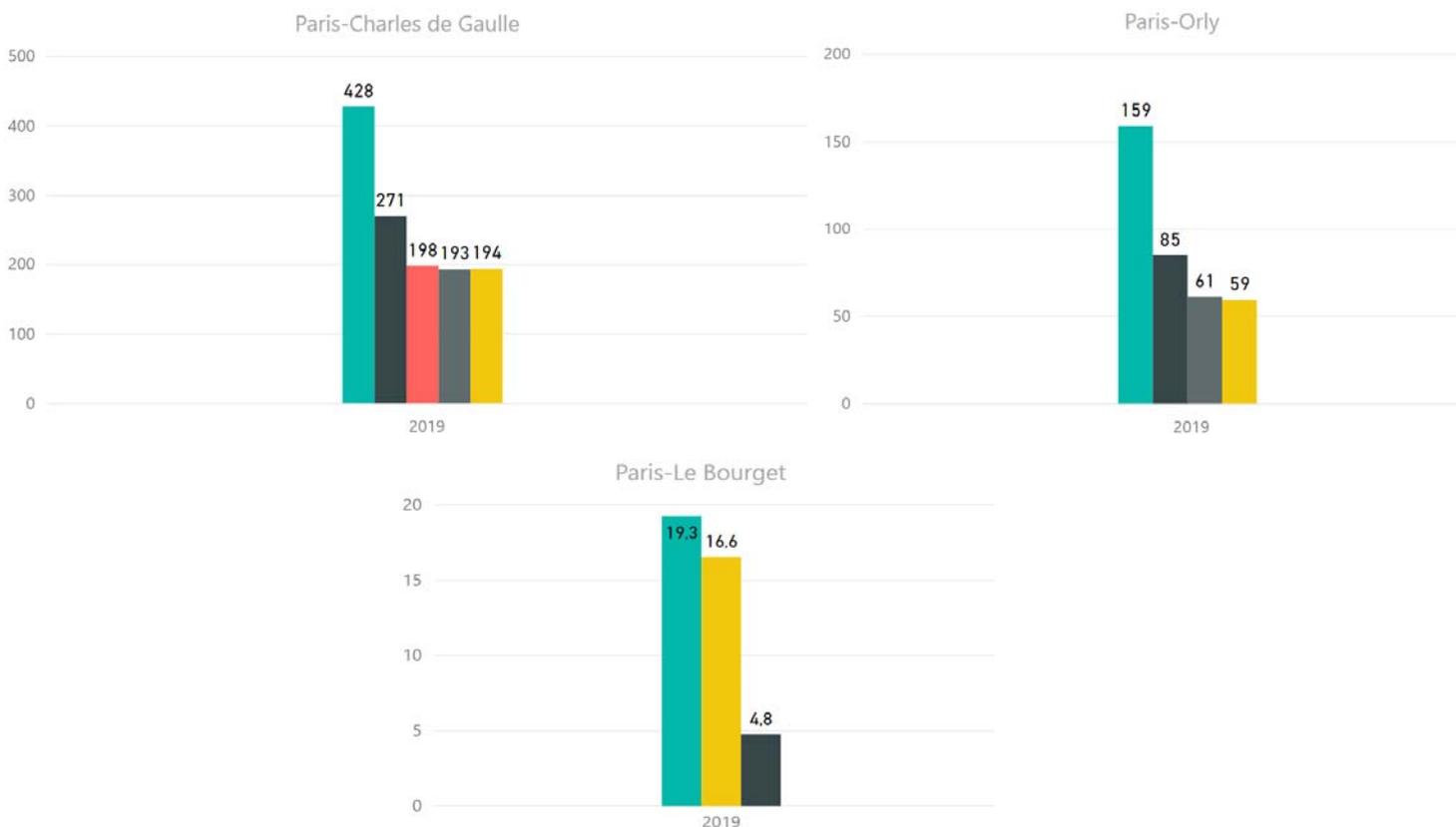


Figure 16 : Impact de la prise en compte de différents temps d'utilisation des APU au poste sur les émissions de NO_x et les PM₁₀ (en tonnes) à Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget en 2019

¹⁴ La distribution des temps d'utilisation des APU mesurés par la GTA et présentés dans l'étude ACNUSA de 2019 par catégories avion est supposée symétrique, de ce fait dans les calculs d'émissions des APU les temps médians sont assimilés à des temps moyens.

¹⁵ https://www.acnusa.fr/uploads/media/default/0001/02/1552_2009-09-apu-temps-utilisation-et-reglementation.pdf

- **Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly**

- Les émissions des APU calculées selon les temps maximums d'utilisation réglementaires (Cf. Colonne verte) sont très surestimées (plus du double) par rapport aux émissions calculées selon les temps observés à Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly (colonne rouge : Campagne_CDG_2018 Groupe ADP ; colonne gris clair : Campagne DGAC 2008 et colonne jaune : Etude des PV de la GTA entre 2014 et 2019 par l'ACNUSA).
- Les émissions calculées avec les temps d'utilisation préconisés par le guide 9889 de l'OACI (Cf. Colonne noire) sont supérieures mais globalement dans les mêmes ordres de grandeur que les temps issus d'observations, 271 tonnes de NO_x à Paris-Charles de Gaulle et 85 tonnes de NO_x à Paris-Orly en 2019.
- Les émissions des APU au poste en 2019, calculées selon des temps provenant des différentes campagnes d'observations, sont très semblables, avec une variation des émissions comprise entre 198 tonnes et 194 tonnes de NO_x à Paris-Charles de Gaulle.

- **Paris-Le Bourget**

- Les émissions des APU calculées selon les temps d'utilisation maximum réglementaires (Cf. Colonne verte) sont surestimées mais globalement dans les mêmes ordres de grandeur par rapport aux émissions calculées selon des temps observés à Paris-Le Bourget par l'ACNUSA. Avec des émissions comprises entre 19,3 tonnes et 16,6 tonnes pour le NO_x et 1,15 et 0,98 tonnes pour les PM₁₀ (cf. colonne jaune : étude des PV de la GTA entre 2014 et 2019 par l'ACNUSA).
- Les émissions calculées avec les temps d'utilisation préconisés par le guide 9889 de l'OACI (Cf. Colonne noire) sont très inférieures à celles calculées avec les temps issus d'observations, 4,8 tonnes de NO_x et 0,26 tonnes pour les PM₁₀ à Paris-Charles de Gaulle en 2019.
- A Paris-Le Bourget les temps d'utilisation médians, préconisés par le Guide ACNUSA (supérieurs à ceux observés sur les deux autres plateformes parisiennes) peuvent s'expliquer par les caractéristiques de la flotte d'aéronef rencontrée sur cette plateforme (aviation d'affaire), ainsi que par l'absence de postes fixes équipés de 400 Hz ou de PCA. L'étude de l'ACNUSA présente la répartition des temps observés par la GTA (Cf. Annexe 19). Les observations réalisées par la GTA montrent une proportion de dépassements des temps réglementaires importante (à l'arrivée 21 dépassements supérieurs à 80 min sur 97 PV dressés et au départ 18 dépassements supérieurs à 30 min sur 73 PV dressés). La prise en compte de ces temps fait augmenter significativement les émissions des APU par rapport aux émissions calculées avec les temps forfaitaires de la méthode avancée de l'OACI (plus du triple). Pour consolider ces résultats, une campagne d'observation de l'utilisation des APU à Paris-Le Bourget sera prochainement réalisée par le Groupe ADP.

La tendance observée pour les NO_x à Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget est la même pour les autres polluants d'intérêts : PM_{2,5}, SO₂, HC et CO (Cf. en Annexe 16, Annexe 17 et Annexe 18).

IV. Les engins et véhicules spéciaux (GSE dont GPU)

Les véhicules ou engins spéciaux (GSE) 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, au déchargement 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) et dépendent du type avion et des infrastructures du terminal (type de poste).

a. Méthodologies de calculs et facteurs d'émission

En fonction du niveau de connaissance et des informations disponibles, différentes approches de calcul peuvent être réalisées pour déterminer les émissions des GSE au poste. Le Tableau 6 suivant indique les différentes méthodologies de calcul possibles, pour calculer les émissions des GSE au poste en fonction de la complexité d'approche.

Tableau 6 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des engins spéciaux au poste (**en gras l'approche retenue pour l'inventaire 2019**)

Ressources		Approche simple	Approche avancée	Approche sophistiquée
GSE au poste de stationnement avion	Nombre et type de véhicule	Utilisation des facteurs d'émission de l'étude menée à Zurich en 2013 ¹⁶ par type avion et par type de poste	Utilisation de facteurs d'émission 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'émission 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 2019, selon une méthodologie avancée proposée par le document OACI 9889 (Eq. A2-3 page.3-A2-7). Pour déterminer les données nécessaires à l'application de ce calcul d'émissions, une étude a été menée sur la source d'émission GSE en 2018 par les équipes du Laboratoire du Groupe ADP. Cette étude comprend une étude 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 déterminer des facteurs d'émission NO_x, CO, HC et PM propre à la plateforme de Paris-Charles de Gaulle, pour les activités des GSE au poste, en fonction du type avion (Jumbo, Heavy, Medium) et du type de poste (Large et Contact). 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.

Différents paramètres et hypothèses, ont été pris en compte pour le calcul des émissions 2019. Une synthèse des hypothèses établies au cours de l'étude de 2018 et des facteurs utilisés pour réaliser le calcul des émissions des GSE est présentée en Annexe 21.

¹⁶ https://www.zurich-airport.com/~/_media/flughafenzh/dokumente/das_unternehmen/laerm_politik_und_umwelt/luft/2014_gse_emissionmeth_zrh.pdf

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 17 et la Figure 18.

En tonnes ● CO ● NOX ● HC ● PM10



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

On observe une augmentation des émissions tous polluants confondus entre 2018 et 2019 sur Paris-Charles de Gaulle. Ces résultats s'expliquent par l'augmentation du trafic entre 2018 et 2019 sur cette plateforme (+17 230 mouvements).

En tonnes ● CO ● NOX ● HC ● PM10



Figure 18 : Evolution pluriannuelle des émissions en tonnes de NOX, HC, CO et PM₁₀ avec les facteurs CDG 2018 pour la plateforme de Paris-Orly

Pour Paris-Orly, on observe une légère diminution des émissions tous polluants confondus, entre 2018 et 2019. Ces résultats s'expliquent par une baisse significative du nombre de mouvements en 2019 (-10 702 mouvements) par rapport à 2018. Cette modification du trafic en 2019 sur Paris-Orly est due à la fermeture exceptionnelle, durant 5 mois, de la piste 3 pour cause de travaux.

En raison de configuration particulière du trafic sur la plateforme de Paris-Le Bourget, les émissions des GSE n'ont pas été calculés. Une étude spécifique ainsi que des observations sur la plateforme sont nécessaires.

V. Le trafic routier

Les émissions des véhicules circulant sur les voies de circulation publiques (zone publique) et les voies de circulation côté piste (zone réservée) doivent être prises en compte dans l'inventaire des émissions. Les émissions du trafic routier sont complexes à déterminer, car elles nécessitent une importante quantité de données (nombre de véhicule, type de parc, vitesse, longueur de tronçons...). Pour l'inventaire 2019, seule les émissions du trafic routier de Paris-Charles de Gaulle ont été déterminées. Une étude du trafic routier spécifique pour Paris-Orly et Paris-Le Bourget sera nécessaire pour déterminer les émissions sur ces plateformes.

a. Méthodologies de calculs et facteurs d'émission

• Zone publique

Les émissions du trafic routier en zone publique à Paris-Charles de Gaulle sont calculées selon une approche avancée (Cf. Tableau 7).

Tableau 7 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du trafic routier en zone publique (**en gras les approches retenues pour l'inventaire 2019**)

	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 horaire de comptages réelles et de vitesses sur différents sites de la plateforme.
	Type de flotte (Répartition Véhicule lourd/léger, % électrique, âge moyen du parc)			

Le détail des hypothèses et des méthodologies utilisées est présenté Annexe 26. En raison de la crise sanitaire et de la mise en activité partielle de 80% du personnel du Groupe ADP dès le mois de mars 2020, l'évolution méthodologique initialement prévue sur cette source pour l'inventaire 2019 n'a pu être réalisée. Les résultats présentés dans la partie suivante sont considérés égaux à ceux de 2017 et 2018.

• 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.

Les émissions du trafic routier en zone réservée à Paris-Charles de Gaulle ne sont pour l'heure calculées que pour les NOx selon une approche simple (Cf. Tableau 8).

Tableau 8 : Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions du trafic routier en zone publique (**en gras les approches retenues pour l'inventaire 2019**)

	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, % électrique, âge moyen du parc)			

Les données disponibles en zone réservée sont plus parcellaires que les données en zone publique. Le détail des hypothèses et des méthodologies utilisées pour déterminer les émissions est présenté en Annexe 26. Les données et la méthodologie n'ont pas été mises à jour pour 2019 et sont considérées égales à celles de 2017 et 2018.

b. Résultats des calculs d'émissions

Les émissions retenues pour l'inventaire 2019, sont présentées dans le Tableau 9 suivant.

Tableau 9: Emissions 2017 du trafic routier en zone publique sur Paris-Charles de Gaulle

Source	Emissions par polluant (en tonnes)					
	NOx	CO	HC	SO ₂	PM ₁₀ (Combustion)	PM ₁₀ (Abrasion)
Routier Zone Publique ²⁰¹⁷	800	500	32	6	50	
Routier Zone Réservee ²⁰¹⁷	4	-	-	-	-	

Les méthodologies qui permettent d'obtenir ces données d'émissions pour le trafic routier en zone publique et en zone réservée sont issues d'approches de calcul simples. Elles doivent être consolidées afin de gagner en robustesse sur les émissions.

En l'absence d'études du trafic routier plus approfondies à Paris-Orly et Paris-Le Bourget, les émissions 2019 du trafic routier en zone publique et en zone réservée n'ont pas été déterminés. Des études doivent être menées par le Laboratoire du Groupe ADP, pour estimer les émissions induites par le trafic routier sur ces deux plateformes.

VI. Le trafic ferroviaire (TGV + RER)

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

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

a. Méthodologies de calculs et facteurs d'émission

Pour l'année 2019, en complément des émissions liées aux trafic TGV et RER, les émissions du CDG VAL Lignes 1 et 2 ont été prises en compte dans l'inventaire 2019. La méthodologie et les facteurs d'émission kilométriques utilisés sont issus du guide OMINEA 2020 du CITEPA¹⁷. Le nombre de passages par an du RER et du TGV est transmis par la SNCF, le nombre de kilomètres parcourus sont fournis par le Groupe ADP.

Les méthodologies et les facteurs d'émission utilisés pour réaliser le calcul des émissions sont présentés en Annexe 29.

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 10 .

Tableau 10: 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 2019

Ligne ferroviaire	TSP (tonnes)	PM ₁₀ (tonnes)	PM _{2,5} (tonnes)
RER	15,26	5,69	2,21
TGV	1,51	0,56	0,07
CDG VAL Ligne 1	0,10	0,08	0,04
CDG VAL ligne 2	0,08	0,06	0,03
Total	17,0	6	2

Les émissions de particules émises par le trafic du CDGVAL sont bien inférieures à celles du trafic RER et TGV (<1 Tonne).

¹⁷ <https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/omine/OMINEA2019.pdf>

VII. 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.

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 données temps réel. (Cf. Tableau 11)

Tableau 11 Synthèse des approches applicables pour calculer les émissions des CTFE (**en gras les approches retenues pour l'inventaire 2019**)

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

a. Synthèse des émissions

En 2019, les émissions des centrales thermiques, ont été mesurées en continue (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 12. L'évolution pluriannuelle des émissions par plateforme est présentée dans les Figure 19 et Figure 20.

Tableau 12: Emissions des polluants des centrales thermiques mesurées en continu pour l'année 2019 en tonnes

Plateforme	NO _x	CO	SO ₂	TSP
Paris-Charles de Gaulle	27,4	2,7	0,4	0,1
Paris-Orly	1,9	<0,1	<0,1	<0,1

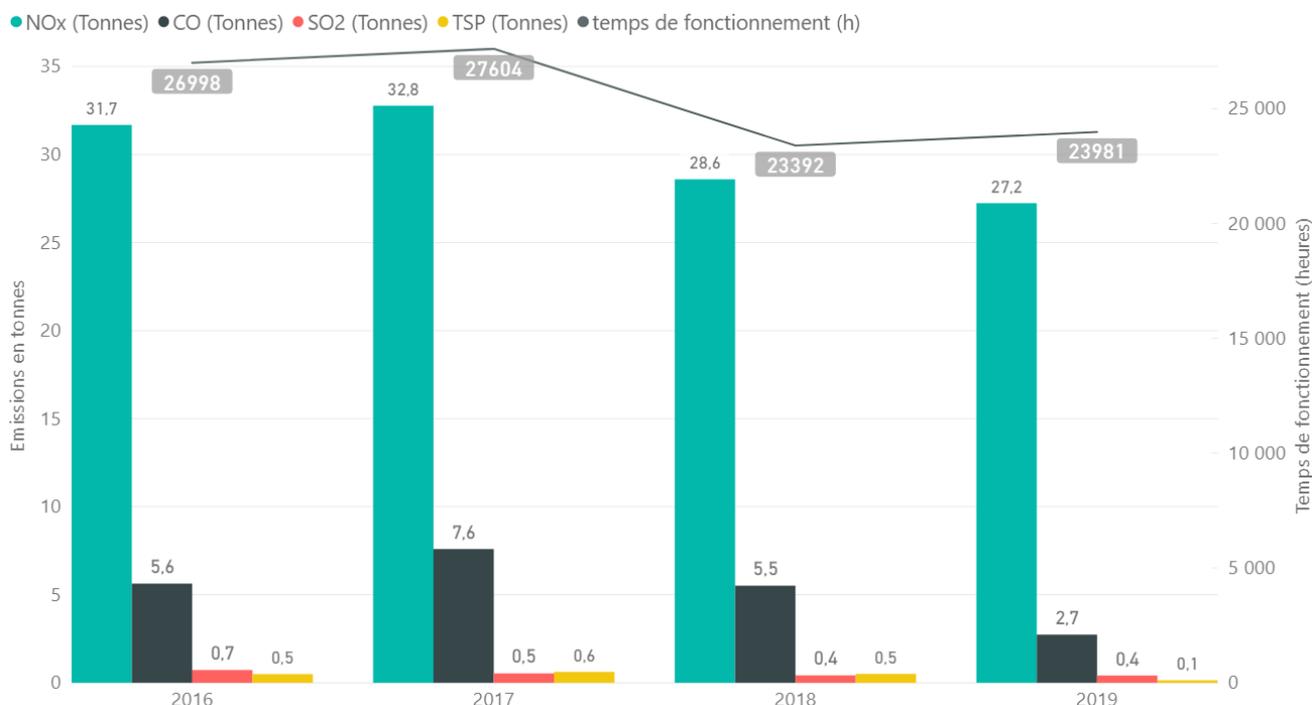


Figure 19 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO_x, CO, TSP et SO₂ et temps de fonctionnement des CTFE de Paris-Charles de Gaulle¹⁸

¹⁸ 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)

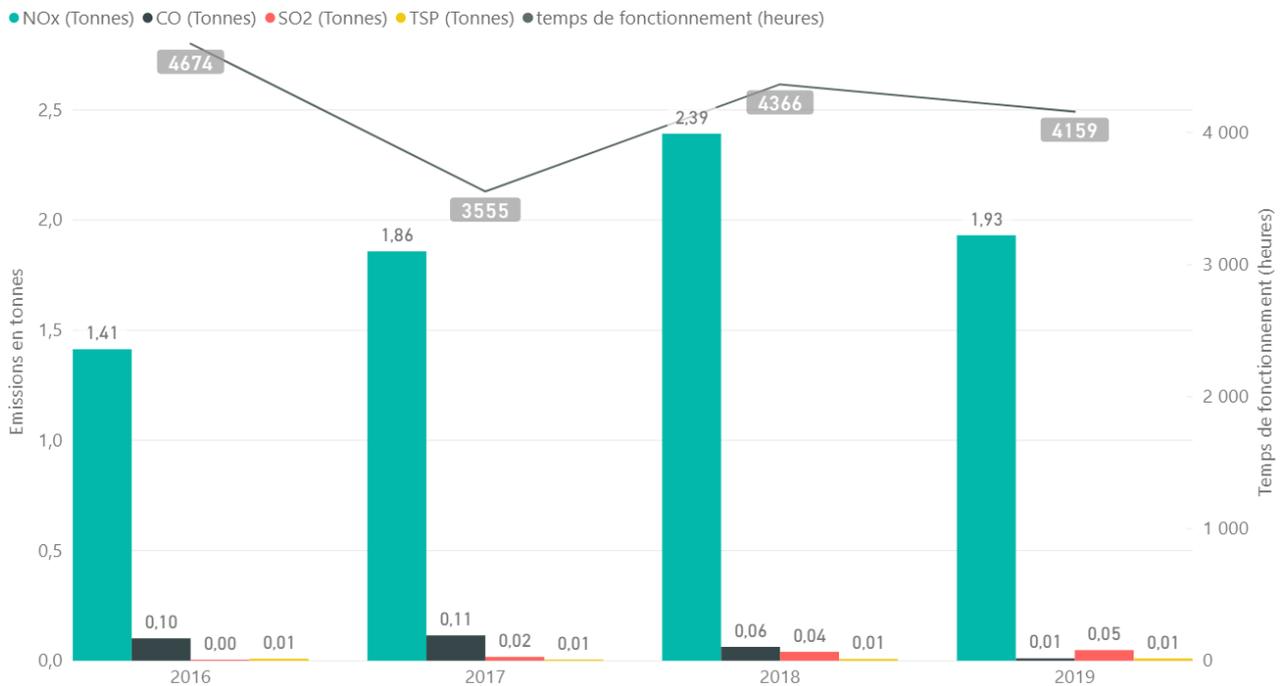


Figure 20 : Evolution pluriannuelle des émissions de NO_x, CO, TSP et SO₂ et des temps de fonctionnement des CTFE de Paris-Orly

Les émissions sont dépendantes des conditions et des temps d'utilisation annuel 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), produit par la géothermie et par l'usine d'incinération des déchets de Rungis (située à 3km de la plateforme).

VIII. Agrégation des émissions par plateforme

La synthèse des méthodes utilisées pour déterminer les émissions de chacune des sources de chaque plateforme, en retenant l'approche de calcul la plus fine possible, est présentée dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Méthodologies de calcul utilisées pour déterminer les émissions de chacune des sources propres à chaque plateforme

Plateforme	Sources d'émissions	Méthodes	Niveau approche
Paris-Charles de Gaulle	LTO Combustion	<ul style="list-style-type: none"> Temps forfaitaire OACI (excepté pour le roulage = temps réel vol à vol) Facteurs OACI par type moteur <ul style="list-style-type: none"> Temps réel vol à vol 	Avancée
	LTO Abrasion	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs CITEPA 	Simple
	APU	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs d'émission EDMS/IATA par type moteur APU Temps d'utilisation moyen de la plateforme (étude ACNUSA) 	Avancée
	GSE (dont GPU)	<ul style="list-style-type: none"> Temps d'utilisation moyen de la plateforme Facteurs d'émission déterminé à partir d'une méthode de calcul de l'OACI propre à la flotte de Paris-Charles de Gaulle 	Avancée
	Trafic routier Zone Publique	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs d'émissions COPERT 2017 	Simple
	Trafic routier Zone Réservée	<ul style="list-style-type: none"> Emissions estimées à partir des données de consommation des compagnies d'assistant en escale 	Simple
	Trafic ferroviaire	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs CITEPA 	Simple
	Centrales Thermiques	<ul style="list-style-type: none"> Mesure de données minutes 	Sophistiqué
Paris-Orly	LTO Combustion	<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 	Avancée
	LTO Abrasion	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs CITEPA 	Simple
	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) 	Avancée
	GSE (dont GPU)	<ul style="list-style-type: none"> Temps d'utilisation moyen de la plateforme Facteurs d'émission déterminé à partir d'une méthode de calcul de l'OACI Donnée de la flotte de Paris-Charles de Gaulle 	Avancée
	Centrales Thermiques	<ul style="list-style-type: none"> Mesure de données minutes 	Sophistiqué
Paris-Le Bourget	LTO Combustion	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs d'émission OACI <ul style="list-style-type: none"> 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)) 	Avancée
	LTO Abrasion	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs CITEPA 	Simple
	APU	<ul style="list-style-type: none"> Facteurs d'émission issus de l'approche avancée de l'OACI Temps d'utilisation moyen de la plateforme (étude ACNUSA) 	Avancée

Les répartitions des émissions par source en fonction des polluants (NO_x, CO, HC, SO₂, PM_{2.5}, et PM₁₀), à Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget sont présentées respectivement dans les Figure 21, Figure 22 et suivantes (Tableaux chiffrés en Annexe 30, Annexe 31 et Annexe 32).

• **Paris-Charles de Gaulle**

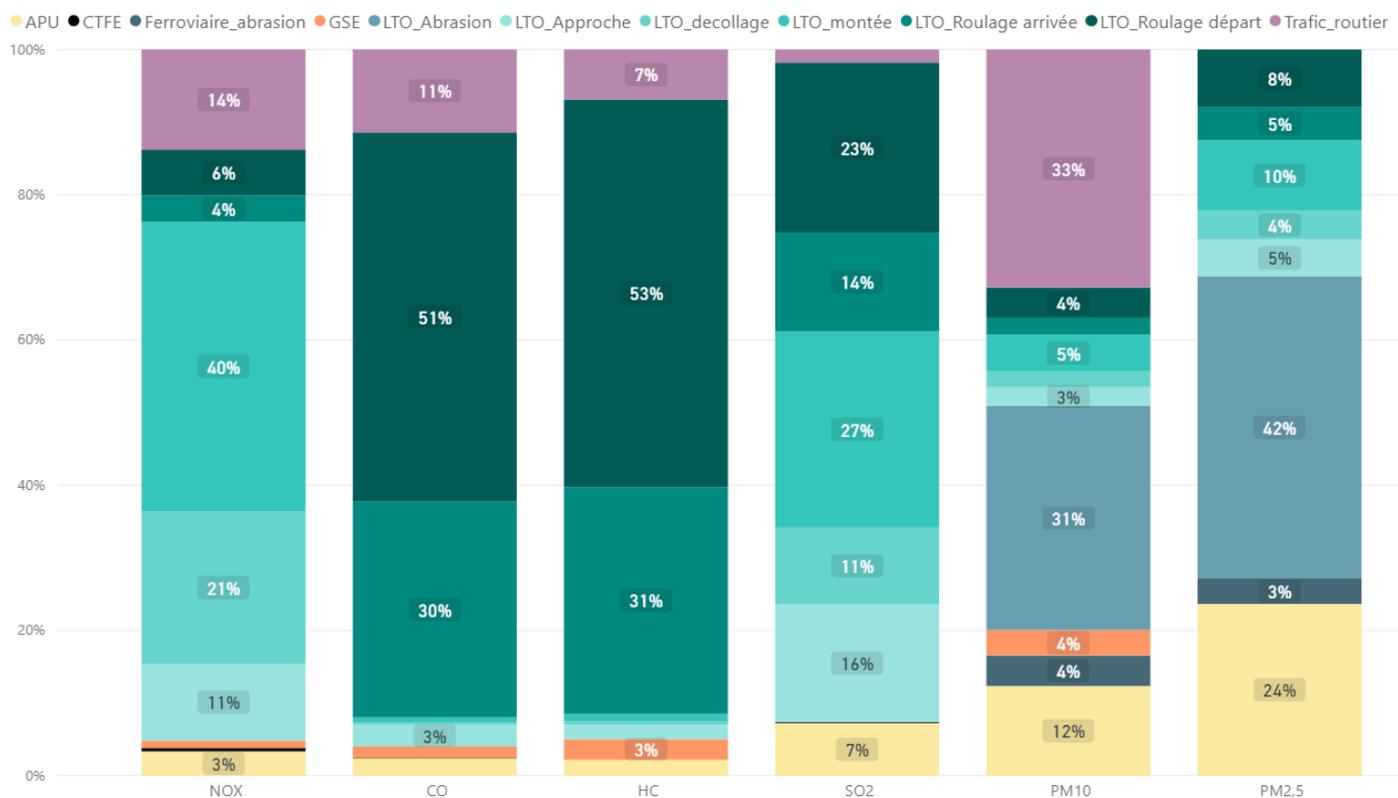


Figure 21 : Répartition des émissions par source en fonction du polluant (NO_x, CO, HC, SO₂, PM_{2.5}, et PM₁₀) à Paris-Charles de Gaulle en 2019

• **Paris-Orly**

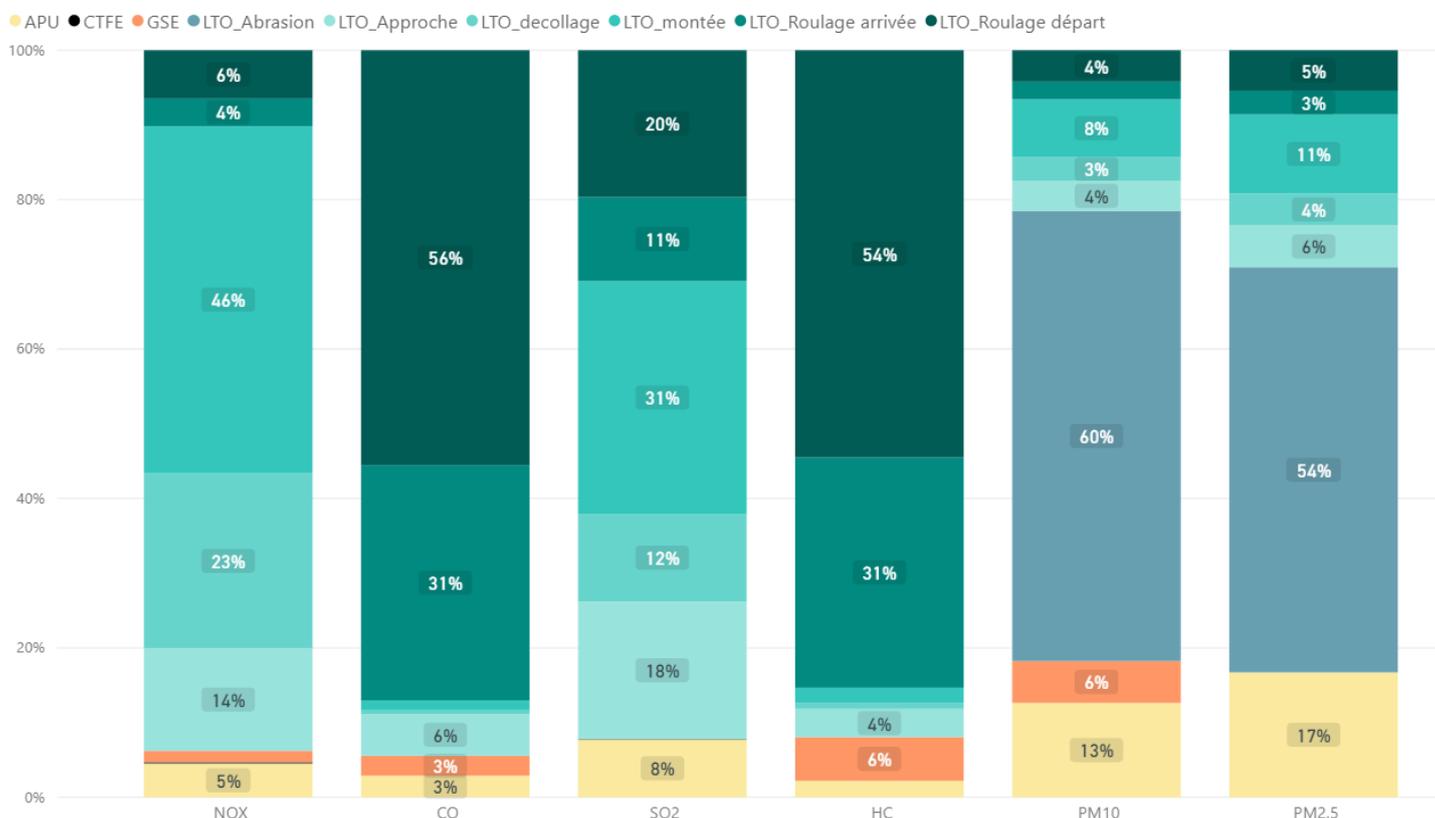


Figure 22 : Répartition des émissions par source en fonction du polluant (NO_x, CO, HC, SO₂, PM_{2.5}, et PM₁₀) à Paris-Orly en 2019

• Paris-Le Bourget

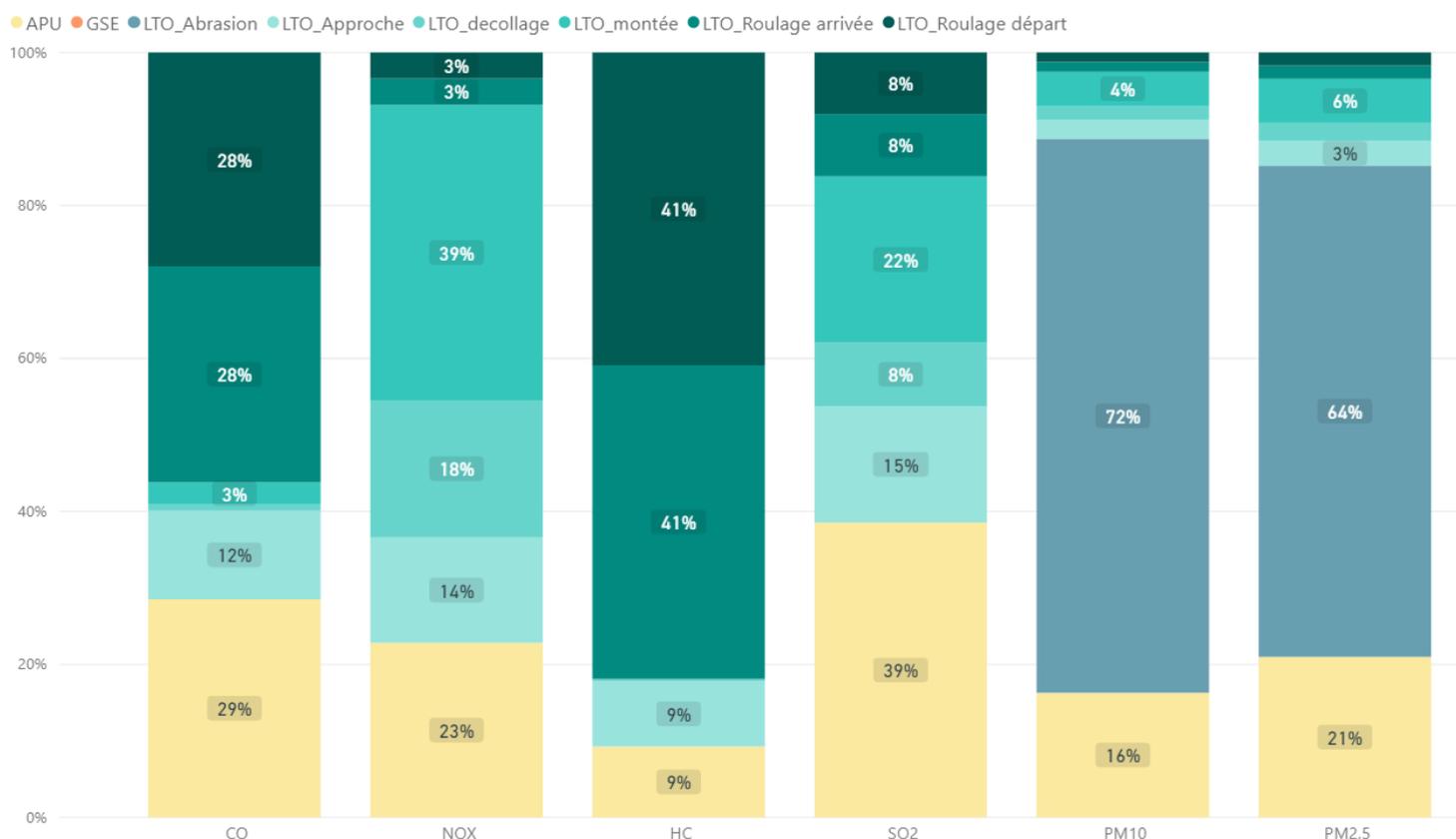


Figure 23 : Répartition des émissions par source en fonction du polluant (NO_x, CO, HC, SO₂, PM_{2,5}, et PM₁₀) à Paris-Le Bourget en 2019

Pour les trois plateformes, on observe que la proportion des émissions par source varie significativement en fonction du type de polluant considéré, une source d'émission pouvant contribuer fortement à l'émission d'un polluant et faiblement à un autre.

A Paris-Le Bourget, on remarque qu'en proportion les émissions des APU au poste, tous polluants confondus, sont significativement supérieures par rapport aux autres plateformes (Cf paragraphe III.b). Cela conforte le fait qu'il convient de consolider les temps d'utilisation de l'APU observés dans l'étude ACNUSA par une campagne d'observation de l'utilisation des APU à Paris-Le Bourget qui sera prochainement réalisée par le Groupe ADP.

A Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget, la part des émissions de PM₁₀ et PM_{2,5} liées aux phénomènes d'abrasion lors du cycle LTO est importantes (supérieure à 50%).

IX. 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 la partie suivante. Ces études seront priorisées et engagées selon l'évolution de la situation économique du secteur aérien.

1. Trafic routier en zone publique

Une étude des données de comptage en temps réel de Paris-Charles de Gaulle est en cours. 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 de calculer plus finement les émissions pour cette source.

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.

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 globale de la plateforme.

4. APU

- a. 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.
- b. Les pratiques d'utilisation de l'APU lors des phases de roulage devront être étudiées.
- c. 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.

5. LTO

- a. Les temps d'utilisation réels (TIM : Time in Mode) de chaque phase du cycle (hors roulage) devront être déterminés (exploitation des données radar).
- b. L'impact de la hauteur de couche limite réelle sur l'inventaire des émissions devra être pris en compte et comparé aux résultats des années 2000 réalisés par Airparif et rapportés dans le guide méthodologique du PCIT¹⁹.
- c. Une étude sur les pratiques du n-1 / n-2 roulage par compagnie et leurs impacts sur le calcul des émissions sera nécessaire.

6. GSE

- a. Les études menées sur cette source devront être poursuivies notamment pour la détermination de facteurs d'émission en lien avec les activités spécifiques des plateformes (Paris-Orly, Paris-Le Bourget, cas spécifique du cargo, etc.) ainsi que la prise en compte la part de GSE électriques dans la détermination des facteurs d'émission.
- b. Des études spécifiques sur les émissions des GSE au roulage en zone réservée devront être menées.

¹⁹ https://www.lcsqa.org/system/files/rapport/MTES_Guide_methodo_elaboration_inventaires_PCIT_mars2019.pdf

Annexes

Annexe 1 : Correspondances type avion, classe ADP (FGS) et type Avion OACI	36
Annexe 2 : Méthodologies et hypothèse de calculs pour les émissions du cycle LTO	37
Annexe 3 : Evolution des émissions de NO _x , HC, CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} et SO ₂ du cycle LTO à Paris-Charles de Gaulle	40
Annexe 4 : Evolution des émissions de NO _x , HC, CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} et SO ₂ du cycle LTO à Paris-Orly	40
Annexe 5 : Evolution des émissions de NO _x , HC, CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} et SO ₂ du cycle LTO à Paris-Le Bourget	41
Annexe 6 : Evolution des émissions NO _x , HC, CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} et SO ₂ du roulage du cycle LTO à Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-le Bourget, calculées selon les temps OACI	41
Annexe 7 : Comparaison des émissions de PM ₁₀ (méthodologies OACI_FOA3, CITEPA 2019 et CITEPA 2017) à Paris-Charles de Gaulle	42
Annexe 8 : Comparaison des émissions de PM ₁₀ (méthodologies OACI_FOA3, CITEPA 2019 et CITEPA 2017) à Paris-Charles de Gaulle	42
Annexe 9 : Méthodologies et hypothèses pour les calculs d'émissions des APU à Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly	43
Annexe 10 : Méthodologies et hypothèses pour les calculs d'émissions des APU Paris-Le Bourget	46
Annexe 11 : Facteurs d'émission par type moteurs APU (IATA/EDMS)	47
Annexe 12 : Facteurs d'émission pour les APU au poste selon la méthode avancée de l'OACI	48
Annexe 13 : Evolution pluriannuelle des émissions (NO _x , HC, CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO ₂) des APU au poste sur Paris-Charles de Gaulle	49
Annexe 14 : Evolution pluriannuelle des émissions (NO _x , HC, CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO ₂) des APU au poste sur Paris-Orly	49
Annexe 15 : Evolution pluriannuelle des émissions (NO _x , HC, CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO ₂) des APU au poste sur Paris-Le Bourget	49
Annexe 16: Impact des différents temps d'utilisation des APU au poste sur les émissions de NO _x , PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, SO ₂ et HC (en tonnes) à Paris-Charles de Gaulle en 2019	50
Annexe 17 : Impact des différents temps d'utilisation des APU au poste sur les émissions de NO _x , PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, SO ₂ , HC (en tonnes) à Paris-Orly en 2019	50
Annexe 18 : Impact de la prise des différents temps d'utilisation des APU au poste sur les émissions de NO _x , PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, SO ₂ , HC (en tonnes) à Paris-Le Bourget en 2019	51
Annexe 19 : Répartition des temps d'utilisation des APU observés à Paris-Le Bourget présentés dans l'étude de l'ACNUSA 2019	51
Annexe 20 : Facteurs d'émission pour les APU au poste selon la méthode simple de l'OACI	51
Annexe 21 : Méthodologies et hypothèses pour les calculs d'émissions des GSE au poste	52
Annexe 22: Répartition des observations des GSE au poste avion au cours de la campagne de 2018 sur Paris-Charles de Gaulle, en fonction du terminal du type de poste et type avion.	56
Annexe 23 : Facteurs d'émission GSE au poste étude de Zurich (2003 et 2013)	57
Annexe 24 : Facteurs d'émission (g/kWh) issus de la norme EMNR	58
Annexe 25 : Facteurs d'émission (g/kWh) issus de la norme EURO	58
Annexe 26 : Méthodologies et hypothèses pour le calcul des émissions du trafic routier en zone publique et en zone réservée	59
Annexe 27 : Zone d'étude pour les émissions du trafic routier sur Paris-Charles de Gaulle (situation 2017)	60
Annexe 28 : Paramètres pris-en-compte pour le calcul des émissions 2017 liées au trafic routier et résultats des calculs d'émissions	60
Annexe 30 : Méthodologies et hypothèses pour les calculs des émissions de particules du trafic ferroviaire	61
Annexe 31 : Synthèse des émissions (en tonnes) calculées en 2019 pour chacune des sources et pour chaque polluants à Paris-Charles de Gaulle	63
Annexe 32 : Synthèse des émissions (en tonnes) calculées en 2019 pour chacune des sources et pour chaque polluants à Paris-Orly	63
Annexe 33 : Synthèse des émissions calculées (en tonnes) en 2019 pour chacune des sources et pour chaque polluants à Paris-Le Bourget	63

Annexe 1 : Correspondances type avion, classe ADP (FGS) et type Avion OACI

TYPE_AVION_OACI	TYPE_PORTEUR	CLASSE_PORTEUR_OACI	CLASSE_FGS
A318	MEDIUM	Petit porteur	C2
A319	MEDIUM	Petit porteur	C2
A320	MEDIUM	Moyen porteur	C2
A320	MEDIUM	Petit porteur	C2
A321	MEDIUM	Moyen porteur	C2
A321	MEDIUM	Petit porteur	C2
AT42	MEDIUM	Petit porteur	C1
AT44	MEDIUM	Petit porteur	C1
AT45	MEDIUM	Petit porteur	C1
AT72	MEDIUM	Petit porteur	C1
B190	MEDIUM	Petit porteur	B
B462	MEDIUM	Petit porteur	C1
B463	MEDIUM	Petit porteur	C1
B712	MEDIUM	Petit porteur	C2
B732	MEDIUM	Petit porteur	C2
B733	MEDIUM	Petit porteur	C2
B734	MEDIUM	Petit porteur	C2
B735	MEDIUM	Petit porteur	C2
B736	MEDIUM	Petit porteur	C2
B737	MEDIUM	Moyen porteur	C2
B737	MEDIUM	Petit porteur	C2
B738	MEDIUM	Moyen porteur	C2
B738	MEDIUM	Petit porteur	C2
B739	MEDIUM	Moyen porteur	C2
B739	MEDIUM	Petit porteur	C2
B051	MEDIUM	Petit porteur	C2
B053	MEDIUM	Petit porteur	C2
C560	MEDIUM	Petit porteur	B
C56X	MEDIUM	Petit porteur	B
C650	MEDIUM	Petit porteur	B
C680	MEDIUM	Petit porteur	B
C750	MEDIUM	Petit porteur	B
CL60	MEDIUM	Petit porteur	B
CRJ1	MEDIUM	Petit porteur	C1
CRJ2	MEDIUM	Petit porteur	C1
CRJ7	MEDIUM	Petit porteur	C1
CRJ9	MEDIUM	Petit porteur	C1
CRJX	MEDIUM	Petit porteur	C1
D328	MEDIUM	Petit porteur	B
DH8D	MEDIUM	Petit porteur	C1
A359	HEAVY	Gros porteur	E
A35K	HEAVY	Gros porteur	E
B744	HEAVY	Gros porteur	E
B748	HEAVY	Gros porteur	E
B745	HEAVY	Gros porteur	E
B762	HEAVY	Moyen porteur	D
B763	HEAVY	Moyen porteur	D
B764	HEAVY	Gros porteur	D
B772	HEAVY	Gros porteur	E
B773	HEAVY	Gros porteur	E
B77L	HEAVY	Gros porteur	E
B77W	HEAVY	Gros porteur	E
B788	HEAVY	Gros porteur	E
B789	HEAVY	Gros porteur	E
IL96	HEAVY	Gros porteur	D
MD11	HEAVY	Moyen porteur	D

TYPE_AVION_OACI	TYPE_PORTEUR	CLASSE_PORTEUR_OACI	CLASSE_FGS
E120	MEDIUM	Petit porteur	B
E135	MEDIUM	Petit porteur	B
E170	MEDIUM	Petit porteur	C1
E190	MEDIUM	Petit porteur	C1
E195	MEDIUM	Petit porteur	C1
F100	MEDIUM	Petit porteur	C1
F70	MEDIUM	Petit porteur	C1
G150	MEDIUM	Petit porteur	B
G280	MEDIUM	Petit porteur	B
GALX	MEDIUM	Petit porteur	B
GLF3	MEDIUM	Petit porteur	B
GLF4	MEDIUM	Petit porteur	B
GLF5	MEDIUM	Petit porteur	B
MD82	MEDIUM	Petit porteur	C2
MD83	MEDIUM	Petit porteur	C2
MD87	MEDIUM	Petit porteur	C2
RJ1H	MEDIUM	Petit porteur	C1
RJ85	MEDIUM	Petit porteur	C1
S820	MEDIUM	Petit porteur	C1
SF34	MEDIUM	Petit porteur	B
SW4	MEDIUM	Petit porteur	B
BE58	LIGHT	Petit porteur	B
C206	LIGHT	Petit porteur	B
C208	LIGHT	Petit porteur	B
C310	LIGHT	Petit porteur	B
C325	LIGHT	Petit porteur	B
C350	LIGHT	Petit porteur	B
E145	LIGHT	Petit porteur	B
GLF6	LIGHT	Petit porteur	B
A388	JUMBO	Gros porteur	F
A124	HEAVY	Gros porteur	F
A306	HEAVY	Moyen porteur	D
A308	HEAVY	Moyen porteur	D
A310	HEAVY	Moyen porteur	D
A332	HEAVY	Gros porteur	E
A333	HEAVY	Gros porteur	E
A342	HEAVY	Gros porteur	E
A343	HEAVY	Gros porteur	E
A345	HEAVY	Gros porteur	E
A346	HEAVY	Gros porteur	E

Annexe 2 : Méthodologies et hypothèse de calculs pour les émissions du cycle LTO

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions du cycle LTO
<p>Méthodologie de calcul</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Méthodologie OACI Calcul d'émissions LTO : Simple approach (option B)</u> <p>L'approche de calcul simplifiée option B décrite dans le guide 9889 (OACI, 2011²⁰) 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 OACI²¹. (Cf. Table 3-A1-2)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center; margin: 10px 0;"> $E_{ij} = \sum (TIM_{jk} * 60) * (FF_{jk}) * (E_{ijk}) * (N_{ej})$ </div> <p>E_{ijk} (g/LTO) = Total des émissions de polluants "i" produit par un type avion "j" en un cycle LTO.</p> <p>E_{ijk} (g/kg de carburant) = facteur d'émission par polluant "i" par kilogramme de fuel, pour chaque phase du cycle LTO "k" et pour chaque de moteur utilisé par un type avion "j"</p> <p>TIM_{jk} (min) = Temps de fonctionnement des moteurs pour chaque phase du cycle LTO "k" pour chaque moteur de l'avion</p> <p>N_{ej} = Nombre de moteur pour un type avion "j"</p> <p>FF_{jk} (kg/s) = Consommation de carburants pour chaque phase du cycle LTO "k", en pour chaque des moteurs utilisé par un type avion "j".</p>
	<p>Approche, Décollage et montée</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> <p style="text-align: center;"> Approche = 4 min Décollage = 0,7 min Montée = 2,2 min </p>
<p>Temps de chaque phase LTO</p>	<p>Roulage (Tr)</p> <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> <p style="text-align: center;"> Tr arrivée = AIBT-ALDT (Entrée au Block - touchée des roues) Tr départ = ATOT-AOBT (Décollage – Sortie du Block) </p> <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> <p style="text-align: center;"> Tr arrivée = 5min Tr départ = 5min </p>

²⁰ https://www.icao.int/publications/Documents/9889_cons_en.pdf

²¹ Document 9889 OACI p 3-A1-13

<p style="text-align: center;">Association</p> <p style="text-align: center;">Moteur – Immatriculation</p>	<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 base de données. <p>Si au terme de ce processus aucune correspondance n'est déterminée, les vols ne sont pas pris en compte dans nos calculs d'émissions (Pour 2018 seulement 30 avions pour Paris-Orly et Paris-Charles de Gaulle n'ont pas de correspondance avec un type moteurs)</p>
	<p style="text-align: center;">NOX, HC, CO, CO2 et SO2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les facteurs d'émission NO_x, HC, CO sont déterminés par type moteur à partir de EEDB de l'OACI³ • Le facteur SO₂ est déterminés selon la DGAC²² : SO₂ = 1 g / kg de carburant
<p style="text-align: center;">Facteurs d'émission issus de la combustion</p> <p style="text-align: center;">Cas particulier des PM</p>	<p>Les Facteurs d'émission PM_{total} sont déterminéq selon trois méthodes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Le facteur d'émission est déterminé en fonction de la consommation de carburant de chaque phase du cycle LTO (gramme de polluant émis pars Gigajoule consommé²³) selon la méthodologie du CITEPA 2017 dans le rapport "Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France- 14ème édition" (OMINEA²⁴ 2017 Chapitre1A3a_aviation p.252) : <ul style="list-style-type: none"> • TSP = PM₁₀ = 11 g/GJ de fuel • PM_{2.5} = 9,6 g/GJ de fuel 2. Le facteur d'émission a été mis à jour en 2019, il est à présent déterminé en fonction de la consommation de carburant de chaque phase du cycle LTO (gramme de polluant par tonne de carburant consommé) selon la méthodologie du CITEPA 2019 dans le rapport OMINEA 17ème édition²⁵ (Chapitre1A3a_aviation p.261) : <ul style="list-style-type: none"> • TSP = PM₁₀ = 500 g/t • PM_{2.5} = 422 g/t

²² https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/calcul_emis_aero.pdf Page 21

²³ <https://www.citepa.org/fr/>

²⁴ **1kg de kérozène = 0.0435 GJ =>** <https://fr.wikipedia.org/wiki/K%C3%A9ros%C3%A8ne>

²⁵ https://www.citepa.org/wp-content/uploads/Citepa_Ominea_ed2020.pdf, p.261

3. Le facteur d'émission est déterminé selon la **méthodologie FOA 3.0 de l'OACI**²⁶ 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 :

$$PM_{total} = PM_{vol-fuelOrganics} + PM_{vol-FSC} + PM_{nv}$$

$$\rightarrow PM_{vol-fuelOrganics} = (\delta) \cdot (EI_{HC\ engine}) \text{ mg/kg de fuel}$$

$$\rightarrow PM_{vol-FSC} = (10)^{\delta} \cdot \left[\frac{(FSC)(\epsilon)(MW_{out})}{(MW_{Sulphur})} \right] = 49 \text{ mg/kg de fuel}$$

$$\rightarrow PM_{nv} = (CI) \cdot (Q) \text{ mg/kg de fuel}$$

- Si SN < 30 $\rightarrow CI = 0.06949 (SN)^{1.234} \text{ mg/m}^3$
- Si SN > 30 $\rightarrow CI = 0.0297 (SN)^2 - 1.803 (SN) + 31.94 \text{ mg/m}^3$
- Si un flux moteur du cœur "TF" $\rightarrow Q_{Core} = 0.776(AFR) + 0.877 \text{ m}^3/\text{kg}$
- Si un flux mixte "MTF" $\rightarrow Q_{mixed} = 0.7769 (AFR)(1+BPR) + 0.877 \text{ m}^3/\text{kg}$

Facteurs constants :

FSC = 0.068% du poids (Fuel sulphur content) \rightarrow Facteur OACI

ϵ = 2.4% du poids (Fuel sulphur conversion efficiency) \rightarrow Facteur OACI

MW_{out} = 96 \rightarrow Poids moléculaire du (SO₄-²)

MW_{Sulphur} = 32 \rightarrow Poids moléculaire du soufre (S^{IV})

Facteurs variables en fonction du type moteur dans l'EEDB de l'OACI :

Cas
particulier
des PM

"TF" = Moteur Turbo fan

"MTF" = Moteur Mixte turbo fan

SN = Smoke Number

BPR = Bypass ratio

EI_{HC engine} = Indice d'émission HC du moteur

Phase du cycle LTO	Réglage de l'alimentation	AFR = Air fuel ratio	$\delta = \frac{EI_{PM_{vol-orgCFM56}}}{EI_{HCCFM56}}$ (CFM56 \rightarrow Type de moteur EEDB OACI)
Roulage	7%	106	115
Approche	30%	83	76
Montée	85%	51	56.25
Décollage	100%	45	6.17

Les émissions des **TSP**, **PM₁₀**, **PM_{2.5}** issues de l'abrasion sont déterminées selon les facteurs d'émission du rapport du CITEPA (Guide OMINEA⁴ § 1A3a_aviation p.256) :

- **TSP = 381 g/LTO**
- **PM₁₀ = 190 g/LTO**
- **PM_{2.5} = 111 g/LTO**

Facteurs
d'émission issus
de la
combustion

Facteurs
d'émission issus
de l'abrasion

TSP, PM₁₀,
PM_{2.5}

²⁶ Doc 9889 OACI (p 3-A1-41 à 3-A1-50)

Annexe 3 : Evolution des émissions de NO_x, HC, CO, PM10, PM2.5 et SO2 du cycle LTO à Paris-Charles de Gaulle

Evolution des émissions de CO (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	131,45	1 273,73	2 138,08	12,77	34,53	3 590,56
2016	130,47	1 325,03	2 256,23	12,62	33,96	3 758,31
2017	131,02	1 296,09	2 153,45	12,72	34,03	3 627,31
2018	130,08	1 279,10	2 282,69	12,53	33,24	3 737,63
2019	132,56	1 315,45	2 254,81	12,63	33,17	3 748,63

Evolution des émissions de HC (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	10,44	146,33	244,70	1,95	5,03	408,46
2016	10,07	151,90	257,65	1,89	4,87	426,38
2017	10,05	149,48	246,78	1,89	4,92	413,11
2018	9,51	144,78	259,17	1,86	4,85	420,16
2019	9,37	146,83	250,70	1,88	4,92	413,71

Evolution des émissions de NO_x (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	580,42	201,89	343,04	1 118,26	2 163,18	4 406,80
2016	583,50	208,18	357,33	1 141,09	2 195,21	4 485,30
2017	591,24	203,80	341,97	1 155,41	2 213,89	4 506,31
2018	607,39	204,91	367,02	1 192,71	2 280,89	4 652,92
2019	624,15	213,34	368,83	1 232,62	2 348,24	4 787,18

Evolution des émissions de SO₂ (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	51,14	43,72	73,65	33,31	84,98	286,80
2016	51,20	44,94	76,73	33,41	85,15	291,42
2017	51,76	44,05	73,45	33,79	86,13	289,18
2018	52,81	43,97	78,39	34,50	87,90	297,57
2019	54,42	45,68	78,49	35,56	90,61	304,76

Evolution des émissions de PM10 (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	3,89	3,65	6,15	3,34	7,89	24,91
2016	3,90	3,74	6,38	3,29	7,80	25,11
2017	3,90	3,66	6,09	3,27	7,75	24,67
2018	3,97	3,62	6,47	3,24	7,73	25,04
2019	4,09	3,72	6,40	3,27	7,81	25,29

Evolution des émissions des PM2.5 (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	3,29	3,08	5,19	2,82	6,66	21,03
2016	3,29	3,16	5,39	2,77	6,58	21,20
2017	3,29	3,09	5,14	2,76	6,54	20,83
2018	3,35	3,06	5,46	2,74	6,52	21,13
2019	3,45	3,14	5,40	2,76	6,59	21,34

Annexe 4 : Evolution des émissions de NO_x, HC, CO, PM10, PM2.5 et SO2 du cycle LTO à Paris-Orly

Evolution des émissions de CO (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	49,93	242,20	415,67	5,07	13,44	726,31
2016	52,17	268,87	469,19	5,04	13,33	808,61
2017	51,41	266,70	464,72	5,08	13,44	801,35
2018	52,45	280,58	466,29	4,86	12,80	816,99
2019	49,99	276,46	487,44	4,49	11,81	830,19

Evolution des émissions de HC (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	3,29	22,44	38,20	0,74	2,04	66,70
2016	3,26	24,29	41,69	0,74	2,02	72,00
2017	3,19	23,59	40,42	0,73	1,99	69,92
2018	3,15	24,05	39,93	0,66	1,79	69,58
2019	2,94	23,73	41,94	0,60	1,63	70,84

Evolution des émissions de NO_x (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	174,12	42,46	71,62	285,37	576,66	1 150,23
2016	184,12	46,64	80,78	305,91	615,41	1 232,86
2019	182,73	48,35	84,61	311,67	617,43	1 244,79
2017	184,90	46,61	80,51	315,98	630,22	1 258,22
2018	189,29	49,02	80,68	322,83	641,69	1 283,50

Evolution des émissions de SO₂ (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	17,49	9,43	15,97	10,99	28,27	82,15
2016	18,40	10,38	17,97	11,61	29,82	88,18
2017	18,42	10,38	17,89	11,65	29,88	88,22
2018	18,78	10,90	17,93	11,89	30,49	89,99
2019	17,96	10,74	18,80	11,39	29,22	88,12

Evolution des émissions de PM10 (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	1,33	0,75	1,28	1,18	2,79	7,33
2016	1,45	0,83	1,43	1,23	2,96	7,90
2017	1,54	0,82	1,40	1,22	3,02	8,00
2018	1,53	0,85	1,39	1,21	2,97	7,95
2019	1,47	0,83	1,46	1,13	2,77	7,67

Evolution des émissions des PM2.5 (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	1,12	0,63	1,08	0,99	2,35	6,18
2016	1,23	0,70	1,21	1,04	2,50	6,66
2017	1,30	0,69	1,18	1,03	2,54	6,75
2018	1,29	0,71	1,17	1,02	2,51	6,71
2019	1,24	0,70	1,23	0,95	2,34	6,47

Annexe 5 : Evolution des émissions de NOX, HC, CO, PM10, PM2.5 et SO2 du cycle LTO à Paris-Le Bourget

Evolution des émissions de CO (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	12	28,27	27,94	0,78	3	71,99
2016	12	27,56	27,31	0,77	3	70,64
2017	13	31,09	30,85	0,88	3	78,82
2018	13	30,07	29,83	0,85	3	76,75
2019	12	29,21	28,93	0,82	3	73,95

Evolution des émissions de HC (en tonnes)

ANNEE	APP_HC	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	1,56	7,38	7,31	0,07	0	16,32
2017	1,70	8,06	8,04	0,07	0	17,87
2018	1,67	7,81	7,82	0,06	0	17,37
2016	1,55	7,33	7,32	0,06	0	16,26
2019	1,57	7,52	7,50	0,05	0	16,64

Evolution des émissions de NOX (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	10	2,37	2,34	13	29	56,71
2016	9	2,30	2,27	13	27	53,57
2017	10	2,66	2,63	14	30	59,29
2018	10	2,60	2,57	14	29	58,16
2019	10	2,50	2,47	13	28	55,96

Evolution des émissions de SO2 (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	1,27	0,67	0,66	0,69	1,81	5,10
2016	1,21	0,65	0,64	0,66	1,72	4,88
2017	1,38	0,74	0,73	0,76	1,97	5,58
2018	1,34	0,72	0,71	0,74	1,91	5,41
2019	1,29	0,69	0,68	0,70	1,84	5,20

Evolution des émissions de PM10 (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_arrivée	Roulage_départ	Décollage	Montée	Total
2015	0,18	0,09	0,09	0,13	0,30	0,79
2016	0,18	0,09	0,09	0,12	0,30	0,78
2017	0,20	0,10	0,10	0,14	0,35	0,88
2018	0,18	0,10	0,10	0,13	0,34	0,86
2019	0,18	0,09	0,09	0,13	0,32	0,82

Evolution des émissions de PM2.5 (en tonnes)

ANNEE	Approche	Roulage_départ	Roulage_arrivée	Décollage	Montée	Total
2015	0,15	0,08	0,08	0,11	0,25	1
2016	0,15	0,08	0,08	0,10	0,25	1
2017	0,17	0,08	0,08	0,12	0,29	1
2018	0,16	0,09	0,09	0,11	0,28	1
2019	0,15	0,08	0,08	0,11	0,27	1

Annexe 6 : Evolution des émissions NOX, HC, CO, PM10, PM2.5 et SO2 du roulage du cycle LTO à Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-le Bourget, calculées selon les temps OACI²⁷

CDG roulage arrivée Temps OACI 7 min

ANNEE	Plateforme	NOX	CO	SO2	HC	PM10	PM2.5
2015	CDG	199,85	1 260,19	43,21	144,73	3,60	5,07
2016	CDG	206,04	1 311,86	44,51	150,43	3,70	5,32
2017	CDG	201,45	1 281,41	43,51	147,84	3,60	5,07
2018	CDG	202,14	1 262,54	43,41	142,93	3,50	5,32
2019	CDG	211,03	1 301,49	45,21	145,22	3,60	5,32

CDG roulage départ Temps OACI 19 min

ANNEE	Plateforme	NOX	CO	SO2	HC	PM10	PM2.5
2015	CDG	339,18	2 114,28	72,82	242,06	6,00	3,04
2016	CDG	353,57	2 233,05	75,92	255,15	6,30	3,12
2017	CDG	337,88	2 128,51	72,52	244,06	6,00	3,04
2018	CDG	362,17	2 254,34	77,31	256,05	6,30	2,95
2019	CDG	364,65	2 230,42	77,61	248,04	6,30	3,04

ORLY roulage arrivée Temps OACI 7 min

ANNEE	Plateforme	NOX	CO	SO2	HC	PM10	PM2.5
2015	ORLY	46,20	267,81	10,30	25,10	1,00	1,69
2016	ORLY	48,30	281,61	10,80	25,60	1,00	1,69
2017	ORLY	48,50	280,21	10,80	24,90	1,00	1,69
2018	ORLY	49,10	287,52	11,00	25,40	1,00	1,69
2019	ORLY	46,80	274,71	10,50	24,30	0,80	1,86

ORLY roulage départ Temps OACI 19 min

ANNEE	Plateforme	NOX	CO	SO2	HC	PM10	PM2.5
2015	ORLY	125,80	728,73	28,10	68,20	2,00	0,84
2016	ORLY	131,51	766,53	29,30	69,50	2,00	0,84
2017	ORLY	132,10	763,52	29,40	67,80	2,00	0,84
2018	ORLY	133,81	783,04	29,90	69,10	2,00	0,84
2019	ORLY	127,51	748,04	28,50	66,10	2,20	0,68

LBG roulage départ Temps OACI 13 min

ANNEE	Plateforme	NOX	CO	SO2	HC	PM10	PM2.5
2015	LBG	6,10	72,60	1,70	19,00	0,20	0,17
2016	LBG	5,90	71,00	1,70	19,00	0,20	0,17
2017	LBG	6,30	73,70	1,70	19,20	0,20	0,17
2018	LBG	6,50	75,80	1,80	19,90	0,20	0,17
2019	LBG	6,20	72,90	1,70	18,90	0,20	0,17

LBG roulage arrivée Temps OACI 13 min

ANNEE	Plateforme	NOX	CO	SO2	HC	PM10	PM2.5
2015	LBG	6,20	73,50	1,70	19,20	0,20	0,17
2016	LBG	6,00	71,70	1,70	19,10	0,20	0,17
2017	LBG	6,40	74,30	1,80	19,30	0,20	0,17
2018	LBG	6,60	76,40	1,80	19,90	0,20	0,17
2019	LBG	6,30	73,60	1,70	18,90	0,20	0,17

²⁷ https://www.icao.int/publications/Documents/9889_cons_en.pdf (Table 3-A1-1.)

Annexe 7 : Comparaison des émissions de PM₁₀ (méthodologies OACI_FOA3, CITEPA 2019 et CITEPA 2017) à Paris-Charles de Gaulle

ANNEE	PM10_CITEPA_2017 (en tonnes)	PM10_CITEPA_2019 (en tonnes)	PM10_FOA3_OACI (en tonnes)	% écart (OACI)-(CITEPA 2019)	% écart (CITEPA 2019)-(CITEPA 2017)
2015	37,22	40,42	7,08	-82,49	8,59
2016	39,94	43,37	7,65	-82,35	8,59
2017	40,03	43,47	7,80	-82,07	8,59
2018	40,76	44,26	7,75	-82,49	8,59
2019	39,92	43,34	7,50	-82,71	8,59

Annexe 8 : Comparaison des émissions de PM₁₀ (méthodologies OACI_FOA3, CITEPA 2019 et CITEPA 2017) à Paris-Charles de Gaulle

ANNEE	PM10_CITEPA_2017 (en tonnes)	PM10_CITEPA_2019 (en tonnes)	PM10_FOA3_OACI (en tonnes)	% écart (OACI)-(CITEPA 2019)	% écart (CITEPA 2019)-(CITEPA 2017)
2015	130,49	141,69	24,48	-82,72	8,59
2016	132,65	144,04	24,65	-82,88	8,59
2017	131,45	142,74	24,17	-83,06	8,59
2018	135,10	146,70	24,49	-83,31	8,59
2019	138,63	150,54	24,77	-83,55	8,59

Annexe 9 : Méthodologies et hypothèses pour les calculs d'émissions des APU à Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions des APU à Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly
Méthodologies de calculs	<p>Pour calculer les émissions des APU au poste sur à Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly deux méthodologies de calculs ont été utilisées.</p> <p>Pour ces deux méthodes, les émissions sont calculées par mouvement (arrivée et départ) et plusieurs temps d'utilisation au poste des APU ont été appliqués (temps réglementaire, temps observés, temps OACI).</p> <p>1. Méthodologie OACI (V01), approche simple OACI²⁸ (doc 9889 page 3-A1-25) :</p> $E_{ijk} = T_{jk \text{ méthode}} \times \left[\frac{FE_{ij \text{ OACI}}}{\frac{T_{j \text{ OACI}}}{2}} \right]$ <p>E_{ijk} (g/mouvement) = Total des émissions de polluants "i" produit par un type avion "j" par type de mouvement "k" (arrivée et départ).</p> <p>T_{jk méthode x} (min/mouvement) = Temps estimé de fonctionnement selon une méthode "x" du moteurs APU au poste, pour un type avion "j" et type de mouvement "k"</p> <p>FE_{ij OACI} (g/LTO) = Facteur d'émission OACI par polluant "i" et par un type avion "j" pour un cycle LTO.</p> <p>T_{j OACI} (min/LTO) = Temps moyen OACI d'une rotation par type avion "j" pour un cycle LTO. (Le temps moyen d'une rotation OACI est divisé par deux pour avoir le temps d'utilisation de l'APU au poste pour un mouvement.)</p> <p>2. Méthodologie avancée (V02), approche avancée basée sur l'étude de Hong-Kong²⁹ 2014) :</p> $E_{ihjk} = Th_{jk \text{ méthode}} \times \left[\frac{FE_{ihj \text{ IATA/EDMS}}}{1000*60} \right]$ <p>E_{ihjk} (g/mouvement) = Total des émissions de polluants "i" produit par un type moteur APU "h" associé à un type avion "j" et par type de mouvement "k" (arrivée et départ).</p> <p>Th_{jk méthode x} (min/mouvement) = Temps estimé de fonctionnement selon une méthode "x" de l'APU au poste, pour un type de moteur APU "h" associé à un type avion "j" et type de mouvement "k"</p> <p>FE_{ihj IATA/EDMS} (kg/h) = Facteur d'émission par polluants "i" par type moteur APU "h" associé à un type avion "j". (Le facteur d'émission IATA/EDMS est divisé par 60 et 1000 pour être ramené en g/min)</p> <p>Pour l'inventaire 2019 comme en 2018, plutôt que de considérer uniquement les 2 types d'APU déterminé par l'OACI (Cf. Annexe 20) l'association des types avions avec une trentaine de modèles différents (et facteurs d'émission associés) a été réalisée sur la base d'informations collectées dans la littérature (Facteurs IATA/EDMS) (Cf. Annexe 12).</p>

²⁸ https://www.icao.int/publications/Documents/9889_cons_en.pdf

²⁹ https://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_2232014/html/Appendix%205.3.4-4.pdf

Temps d'utilisation de l'APU au poste pour Paris-Orly et Paris-Charles de Gaulle

Les temps d'utilisation des APU au poste en fonction du type avion considérés pour réaliser les calculs d'émissions proviennent de cinq études différentes :

1. **Temps OACI³⁰**
2. **Temps arrêté du 27 juillet 2012 ³¹**
3. **Temps Campagne 2008 DGAC**
4. **Temps campagne Labo ADP 2018³²**
5. **Temps d'observations ACNUSA de 2014 à 2019³³**

Les temps utilisés pour réaliser les calculs des émissions sont détaillés dans le tableau suivant :

Type mouvement	Type avion	Temps OACI (min)	Temps DGAC (min)	Temps arrêté (min)		Temps campagne des observations Laboratoire ADP 2018	Temps observations ACNUSA (min)
				Poste équipé	Poste partiellement et non équipé		
Arrivée	Moyen-Courrier	45/2 = 22,5	32/2 = 16	5	30	12,9	Orly : 6 CDG : 7 LBG : 22
	Long-courrier	75 /2 = 37,5	53/2 = 26,5				13,8
Départ	Moyen-Courrier	45/2 = 22,5	32/2 = 16	10	60	20,6	Orly : 16 CDG : 22 LBG : 55
	Long-courrier	75 /2 = 37,5	53/2 = 26,5				80

Les temps retenus comme étant les plus représentatifs des conditions d'exploitation des plateformes parisiennes sont ceux de l'étude ACNUSA. En effet, Les temps présentés dans cette étude sont des temps médians spécifiques à chaque plateforme parisienne, répartis par type avion et type de mouvement (arrivée/départ) et issus d'un travail d'observation réalisé par la GTA à partir d'un échantillonnage satisfaisant (Paris-Charles de Gaulle 330 observations, Paris-Orly 774 observation et Paris-Le Bourget 97 observations).

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.

³⁰ Temps OACI/DGAC/LABO = Temps d'utilisation au cours d'une rotation → Selon les hypothèses du Laboratoire du Groupe ADP ce temps est à diviser par deux pour avoir le temps d'utilisation APU au poste par mouvement (Arrivé et départ)

³¹ <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000026257685&categorieLien=id>

³² Moyenne par catégorie sur 100 observations à Paris-Charles de Gaulle

³³ https://www.acnusa.fr/uploads/media/default/0001/02/1552_2009-09-apu-temps-utilisation-et-reglementation.pdf

<p>Association Moteur APU – Immat (Méthode spécifique)</p>	<p>Ce processus permet d'associer une immatriculation d'avion à un type moteurs APU et à ses caractéristiques.</p> <ol style="list-style-type: none"> On recherche une correspondance entre le type de moteur APU, les données IATA/EDMS³⁴ et les données trafic → Dans le cas d'une correspondance, la méthode de calcul V02 est appliquée <p>Si on ne trouve pas de correspondance entre le type de moteur APU et l'immatriculation (pour Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly en moyenne 17% des mouvements sans correspondance moteur APU) alors :</p> <ol style="list-style-type: none"> On applique le calcul d'émissions Méthode de calcul V01. (Facteur d'émission OACI en fonction du type avion "long-courrier", "moyen -court-courrier") 																				
<p>Facteurs d'émission NOx, HC, CO, PM10 et SO2</p>	<ol style="list-style-type: none"> Les facteurs d'émission pour les courts et long-courrier de NOx, HC, CO, PM10 pour un temps d'utilisation donnée (OACI³⁵) et Facteur SO2 (DGAC ³⁶) sont présentés dans le Tableau suivant. <table border="1" data-bbox="322 786 1485 965"> <thead> <tr> <th>Type Avion</th> <th>Fuel Flow (kg)</th> <th>NOX (g)</th> <th>HC (g)</th> <th>CO (g)</th> <th>PM10 (g)</th> <th>SO2 (g/kg de fuel)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Court-Courrier (Temps OACI =45 min)</td> <td>80</td> <td>700</td> <td>30</td> <td>310</td> <td>25</td> <td rowspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Long-Courrier (Temps OACI =75 min)</td> <td>300</td> <td>2400</td> <td>160</td> <td>210</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table> <p>Facteurs d'émission IATA/EDMS par type moteurs APU (Cf. Annexe 12)</p>	Type Avion	Fuel Flow (kg)	NOX (g)	HC (g)	CO (g)	PM10 (g)	SO2 (g/kg de fuel)	Court-Courrier (Temps OACI =45 min)	80	700	30	310	25	1	Long-Courrier (Temps OACI =75 min)	300	2400	160	210	40
Type Avion	Fuel Flow (kg)	NOX (g)	HC (g)	CO (g)	PM10 (g)	SO2 (g/kg de fuel)															
Court-Courrier (Temps OACI =45 min)	80	700	30	310	25	1															
Long-Courrier (Temps OACI =75 min)	300	2400	160	210	40																
<p>Cas particulier des PM</p>	<p>Le facteur TSP CITEPA guide OMINEA³⁷ est égal au facteur PM10 doc 9889 OACI (Cf. Annexe 2) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Court/moyen-courrier → Facteur TSP = 25 g/LTO Long-courrier → Facteur TSP = 40 g/LTO <p>La répartition granulométrique des particules issues de la combustion des moteurs APU selon guide OMINEA du CITEPA¹⁰ est la même que pour les facteurs LTO :</p> <ul style="list-style-type: none"> PM 2.5 = 84.4% PM10 																				
<p>Postes équipés à Paris-Charles de Gaulle</p>	<p>On retrouve 604 postes avions sur CDG et 397 sur Orly.</p> <p>Les postes considérés comme 100% équipés (400Hz+ACU) sur CDG sont situés au Terminal 2E-S4, il s'agit des 16 postes suivants :</p> <p>C-K26, C-K32, C-K38, C-K44, C-K52, C-K58, C-K64, C-K70, C-K76, C-L27, C-L33, C-L39, C-L53, C-L59, C-L65 et C-L71.</p>																				

³⁴ <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank>

³⁵ Doc 9889 – p 3-A1-24

³⁶ https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/calcul_emis_aero.pdf Page 21

³⁷ <https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/omineq/OMINEA2019.pdf>, p.256

Annexe 10 : Méthodologies et hypothèses pour les calculs d'émissions des APU Paris-Le Bourget

Paramètres	Méthodologies et hypothèses pour les calculs d'émissions des APU à Paris-Le Bourget																												
Méthodologie de calcul	<p>En l'absence de connaissances sur les types APU propre à la flotte de Paris-Le Bourget, la méthodologie avancée (V02) utilisée à Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly ne peut pas être appliquée (seulement 2% de correspondance " Immatriculation avion-type moteur APU" à Paris-Le Bourget).</p> <p>Les émissions des APU pour les avions à Paris-Le Bourget sont calculées selon la méthodologie avancée du guide 9889 OACI. Cette méthodologie réparties les émissions selon quatre type avion (Business jets, smaller, mid-range, larger et selon quatre phases d'utilisation de l'APU au poste :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Normal running (arrivée) → Descente des passagers • APU start-up and stabilisation (Départ) → Démarrage de l'APU et stabilisation • Normal running (Départ) → Embarquement des passagers • High load (Départ) → Allumage des réacteurs principaux <p>Méthodologie OACI, approche avancée (doc 9889 Tables 3-A1-6 to 3-A1-9) :</p> $E_{ij} = \sum_n \left[\frac{\text{Facteur}_{in} \times \text{Temps}_n}{60} \right]$ <p>E_{ij} (kg/mouvement) = Somme des émissions de polluant "i" produit par les APU au poste, lors de chaque phase "n" pour un avion de type "j"</p> <p>Facteur_{in} (kg/h) = Facteur d'émission OACI par polluant "i" et par phase "n"</p> <p>Temps_n (min) = Temps d'utilisation des APU au poste à Paris-Le Bourget issus de l'étude ACNUSA, réparties par phase "n". (Le temps moyen est divisé par soixante afin d'être ramené en heure)</p>																												
Temps d'utilisation au poste pour Paris-Orly et Paris-Charles de Gaulle	<p>Les émissions des APU au poste à Paris-Le Bourget ont été calculées selon la méthodologie avancée de l'OACI pour différent temps d'utilisation (cf. Tableau suivant).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Temps d'utilisation /rotation</th> <th colspan="4">Phase d'utilisation de l'APU au cours d'une rotation</th> </tr> <tr> <th>Arrivée</th> <th colspan="3">Départ</th> </tr> <tr> <th>Normal running</th> <th>Start-up</th> <th>Normal running</th> <th>High load</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arrêté du 27 juillet 2012 postes non équipés (min)</td> <td>30</td> <td>3</td> <td>54.7</td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td>OACI (min)</td> <td>15</td> <td>3</td> <td>5.3</td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td>ACNUSA (min)</td> <td>22</td> <td>3</td> <td>49.7</td> <td>2.3</td> </tr> </tbody> </table> <p>Les temps de l'étude ACNUSA ont été repartis pour les différentes phases, selon l'hypothèse que les phases start-up et High load sont toujours de même durée.</p>	Temps d'utilisation /rotation	Phase d'utilisation de l'APU au cours d'une rotation				Arrivée	Départ			Normal running	Start-up	Normal running	High load	Arrêté du 27 juillet 2012 postes non équipés (min)	30	3	54.7	2.3	OACI (min)	15	3	5.3	2.3	ACNUSA (min)	22	3	49.7	2.3
Temps d'utilisation /rotation	Phase d'utilisation de l'APU au cours d'une rotation																												
	Arrivée		Départ																										
	Normal running	Start-up	Normal running	High load																									
Arrêté du 27 juillet 2012 postes non équipés (min)	30	3	54.7	2.3																									
OACI (min)	15	3	5.3	2.3																									
ACNUSA (min)	22	3	49.7	2.3																									
Facteurs d'émission NO _x , HC, CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} et SO ₂	<ol style="list-style-type: none"> 1. Les facteurs d'émission (kg /h) pour le Fuel, NO_x, HC, et CO par phase APU et par type avion (Business jets, smaller, mid-range, larger) utilisés pour le calcul des émissions à Paris-Le Bourget sont issus des table-3-A1-6/7/8/9³⁸ (cf. Annexe 12) 2. Le facteur SO₂ utilisé est celui de la DGAC³⁹ : 1 g SO₂/kg fuel 3. Pour les PM₁₀ et les PM_{2.5} les facteurs utilisés sont ceux de la méthode simple de l'OACI (Cf. Annexe 9) 																												

³⁸ Page 3-A1-27 – doc OACI 9889

³⁹ https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/calcul_emis_aero.pdf Page 21

Annexe 11 : Facteurs d'émission par type moteurs APU (IATA/EDMS⁴⁰)

APU_NAME	FUEL_FLOW (kg/h)	CO (kg/h)	CO2 (kg/h)	HC (kg/h)	NOX (kg/h)	SOX (kg/h)	SO2 (kg/h)	PM10 (kg/h)	NO2 (kg/h)
APS2000	68	0,44	214,88	0,04	0,31	0,07	0,07	0,06	0,03
APS2300	107	1,92	338,12	0,11	0,51	0,11	0,11	0,16	0,05
APS3200	125	0,56	395,00	0,04	0,77	0,12	0,13	0,09	0,08
APS5000	110	0,45	347,60	0,05	1,04	0,11	0,11	0,10	0,10
GTCP131-9A	125	0,56	395,00	0,04	0,77	0,12	0,13	0,09	0,08
GTCP131-9B	125	0,56	395,00	0,04	0,77	0,12	0,13	0,09	0,08
GTCP131-9N	113	0,51	357,08	0,04	0,69	0,10	0,11	0,08	0,07
GTCP331-200	122	0,50	385,52	0,05	1,16	0,12	0,12	0,11	0,12
GTCP331-250	122	0,64	385,52	0,07	1,56	0,05	0,12	0,07	0,16
GTCP331-250H	122	0,64	385,52	0,07	1,56	0,05	0,12	0,07	0,16
GTCP331-350	192	0,38	606,72	0,05	2,03	0,21	0,19	0,11	0,20
GTCP331-350C	192	0,38	606,72	0,05	2,03	0,21	0,19	0,11	0,20
GTCP331-500B	244	0,46	771,04	0,05	2,77	0,24	0,24	0,11	0,28
GTCP331-600	290	0,46	916,40	0,05	2,77	0,24	0,29	0,11	0,28
GTCP36-100E	115	2,06	363,40	0,04	0,35	0,07	0,12	0,06	0,04
GTCP36-100N	115	2,06	363,40	0,04	0,35	0,07	0,12	0,06	0,04
GTCP36-150	68	0,44	214,88	0,04	0,31	0,07	0,07	0,06	0,03
GTCP36-150N	68	0,44	214,88	0,04	0,31	0,07	0,07	0,06	0,03
GTCP36-150RJ	68	0,44	214,88	0,04	0,31	0,07	0,07	0,06	0,03
GTCP36-300-4	128	0,21	404,48	0,02	1,01	0,10	0,13	0,06	0,10
GTCP660-4	392	3,01	1238,72	0,10	1,85	0,35	0,39	0,23	0,19
GTCP85-129	107	1,92	338,12	0,11	0,51	0,11	0,11	0,16	0,05
GTCP85-98CK	107	1,92	338,12	0,11	0,51	0,11	0,11	0,16	0,05
GTCP85-98DHF	107	1,92	338,12	0,11	0,51	0,11	0,11	0,16	0,05
HGT1700	261	0,41	824,76	0,04	2,50	0,22	0,26	0,10	0,25
PW901A	392	6,57	1238,72	0,59	1,23	0,39	0,39	1,12	0,12
PW901C	392	6,57	1238,72	0,59	1,23	0,39	0,39	1,12	0,12
PW980A	392	6,57	1238,72	0,59	1,23	0,39	0,39	1,12	0,12
PW980A-N	392	6,57	1238,72	0,59	1,23	0,39	0,39	1,12	0,12
RE220(GX)	68	0,44	214,88	0,04	0,31	0,07	0,07	0,06	0,03
TSCP700-4E	147	0,78	464,52	0,08	1,73	0,21	0,15	0,11	0,17

⁴⁰ https://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_2232014/html/Appendix%205.3.4-2.pdf

Annexe 12 : Facteurs d'émission pour les APU au poste selon la méthode avancée de l'OACI

Table 3-A1-6. APU fuel group

APU fuel group	Start-up No load (kg/h)	Normal running Maximum ECS (kg/h)	High load Main engine start (kg/h)
Business jets/regional jets (seats < 100)	50	90	105
Smaller (100 ≤ seats < 200), newer types	75	100	125
Smaller (100 ≤ seats < 200), older types	80	110	140
Mid-range (200 ≤ seats < 300), all types	105	180	200
Larger (300 ≤ seats), older types	205	300	345
Larger (300 ≤ seats), newer types	170	235	315

Table 3-A1-7. APU NO_x group

APU NO _x group	Start-up No load (kg/h)	Normal running Maximum ECS (kg/h)	High load Main engine start (kg/h)
Business jets/regional jets (seats < 100)	0.274	0.452	0.530
Smaller (100 ≤ seats < 200), newer types	0.364	0.805	1.016
Smaller (100 ≤ seats < 200), older types	0.565	1.064	1.354
Mid-range (200 ≤ seats < 300), all types	0.798	1.756	2.091
Larger (300 ≤ seats), older types	1.137	2.071	2.645
Larger (300 ≤ seats), newer types	1.210	2.892	4.048

Table 3-A1-8. APU HC group

APU HC group	Start-up No load (kg/h)	Normal running Maximum ECS (kg/h)	High load Main engine start (kg/h)
Business jets/regional jets (seats < 100)	0.107	0.044	0.042
Smaller (100 ≤ seats < 200), newer types	2.662	0.094	0.091
Smaller (100 ≤ seats < 200), older types	0.105	0.036	0.036
Mid-range (200 ≤ seats < 300), all types	0.243	0.070	0.059
Larger (300 ≤ seats), older types	0.302	0.153	0.125
Larger (300 ≤ seats), newer types	0.180	0.078	0.076

Table 3-A1-9. APU CO group

APU CO group	Start-up No load (kg/h)	Normal running Maximum ECS (kg/h)	High load Main engine start (kg/h)
Business jets/Regional jets (seats < 100)	1.019	0.799	0.805
Smaller (100 ≤ seats < 200), newer types	3.734	0.419	0.495
Smaller (100 ≤ seats < 200), older types	1.289	0.336	0.453
Mid-range (200 ≤ seats < 300), all types	0.982	0.248	0.239
Larger (300 ≤ seats), older types	5.400	3.695	2.555
Larger (300 ≤ seats), newer types	1.486	0.149	0.192

Annexe 13 : Evolution pluriannuelle des émissions (NO_x, HC,CO,PM₁₀,PM_{2.5},SO₂) des APU au poste sur Paris-Charles de Gaulle

Année	PM25 (Tonnes)	PM10 (Tonnes)	HC (Tonnes)	NOX (Tonnes)	CO (Tonnes)	SO2 (Tonnes)
2015	14,40	17,00	10,00	186,20	96,30	23,00
2016	14,20	16,90	9,50	188,30	94,90	22,90
2017	14,60	17,30	9,60	187,00	97,20	22,90
2018	15,00	17,80	9,80	191,40	99,70	23,50
2019	15,90	18,80	10,20	193,90	105,70	24,00

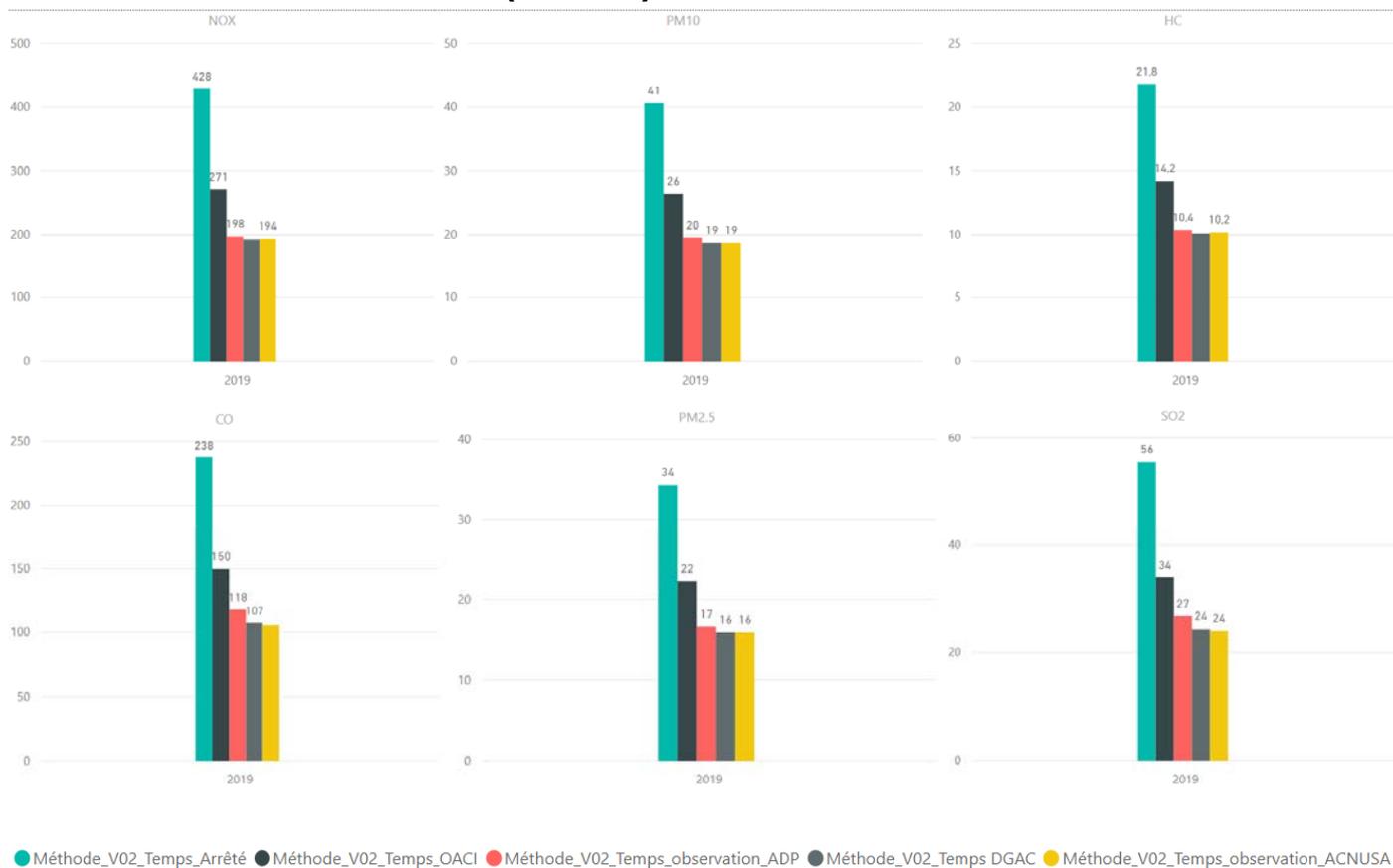
Annexe 14 : Evolution pluriannuelle des émissions (NO_x, HC,CO,PM₁₀,PM_{2.5},SO₂) des APU au poste sur Paris-Orly

Année	PM25 (Tonnes)	PM10 (Tonnes)	HC (Tonnes)	NOX (Tonnes)	CO (Tonnes)	SO2 (Tonnes)
2015	3,50	4,20	2,30	52,80	25,30	6,90
2016	3,70	4,40	2,40	55,40	26,10	7,20
2017	3,70	4,40	2,40	56,50	26,00	7,30
2018	3,90	4,60	2,40	59,60	26,40	7,60
2019	3,70	4,40	2,30	59,40	25,40	7,40

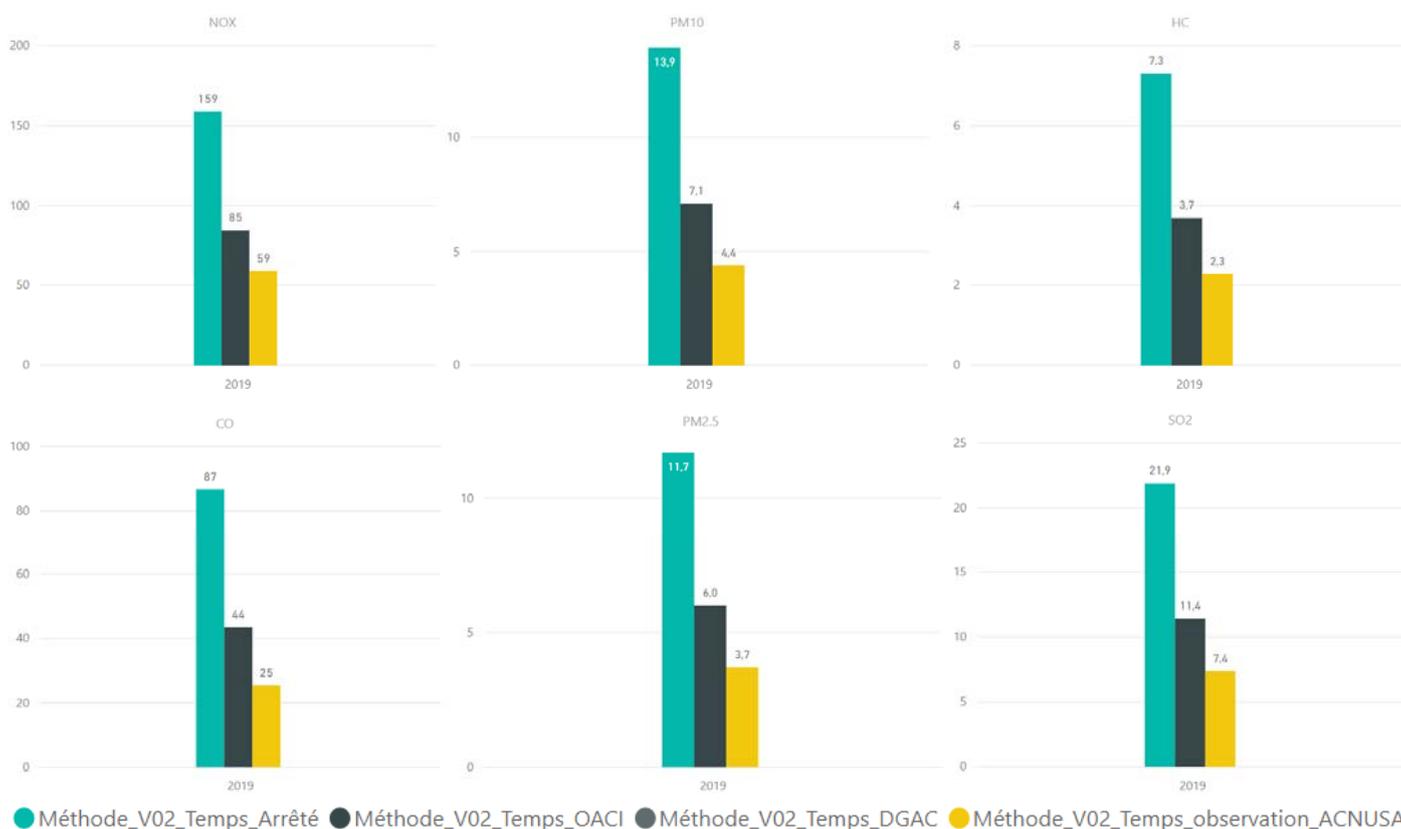
Annexe 15 : Evolution pluriannuelle des émissions (NO_x, HC,CO,PM₁₀,PM_{2.5},SO₂) des APU au poste sur Paris-Le Bourget

ANNEE	PM25 (Tonnes)	PM10 (Tonnes)	HC (Tonnes)	NOX (Tonnes)	CO (Tonnes)	SO2 (Tonnes)
2015	0,95	1,12	1,64	16,37	28,33	3,16
2016	0,94	1,12	1,63	16,13	28,20	3,14
2017	1,05	1,24	1,81	17,83	31,40	3,49
2018	1,03	1,22	1,78	17,41	30,95	3,42
2019	0,98	1,17	1,70	16,55	29,50	3,26

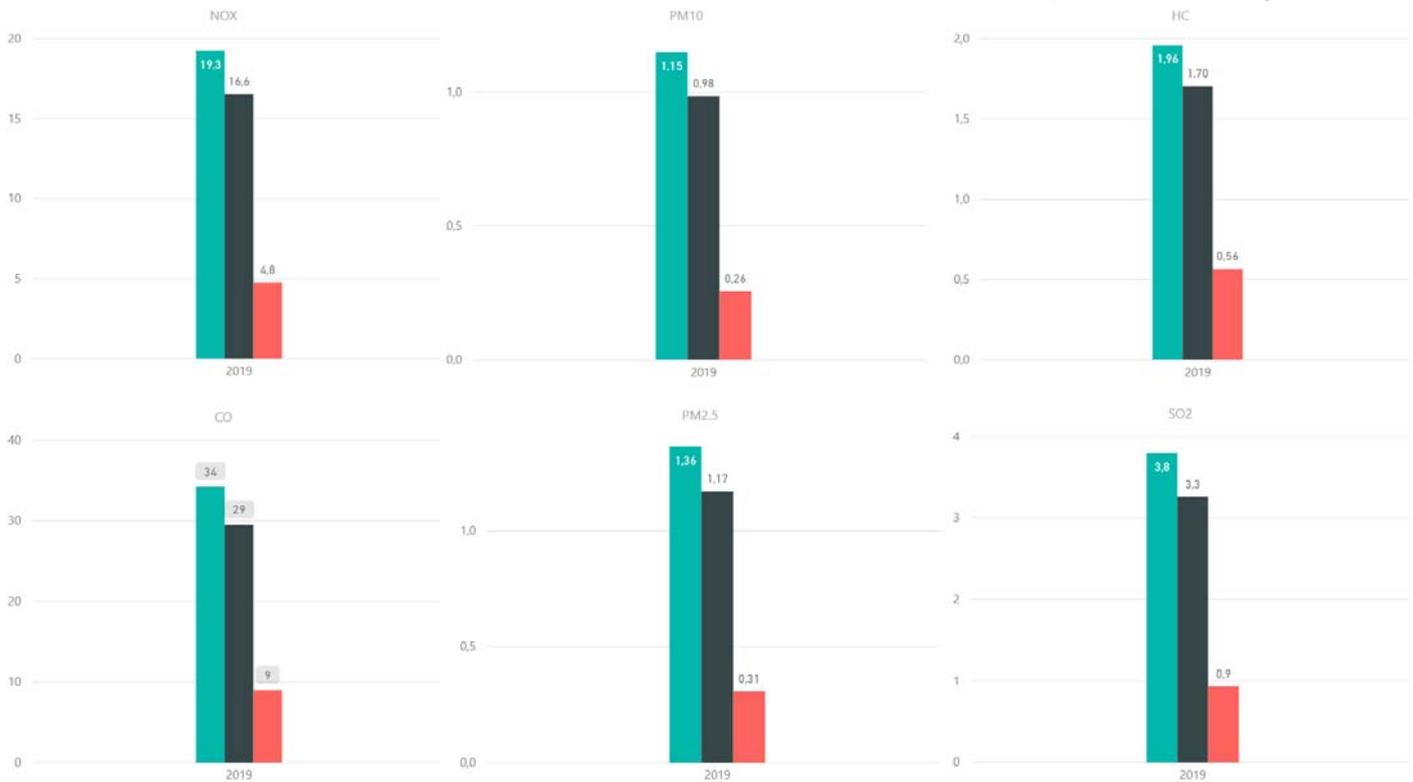
Annexe 16: Impact des différents temps d'utilisation des APU au poste sur les émissions de NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, CO, SO₂ et HC (en tonnes) à Paris-Charles de Gaulle en 2019



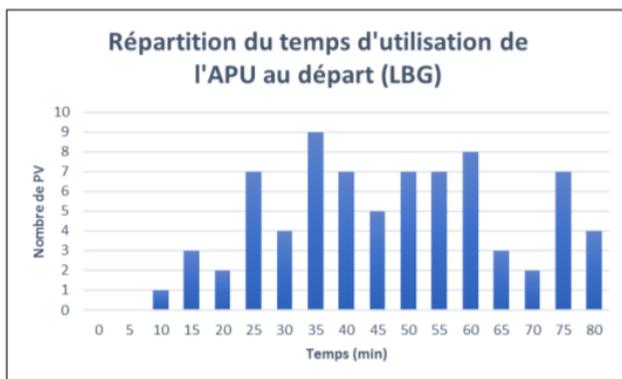
Annexe 17 : Impact des différents temps d'utilisation des APU au poste sur les émissions de NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, CO, SO₂, HC (en tonnes) à Paris-Orly en 2019



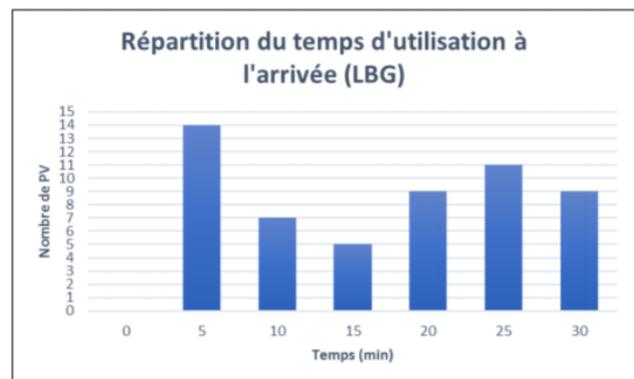
Annexe 18 : Impact de la prise des différents temps d'utilisation des APU au poste sur les émissions de NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, CO, SO₂, HC (en tonnes) à Paris-Le Bourget en 2019



Annexe 19 : Répartition des temps d'utilisation des APU observés à Paris-Le Bourget présentés dans l'étude de l'ACNUSA 2019



Depuis 2014 : 97 PV dressés dont 21 supérieures à 80 min



Depuis 2015 : 73 PV dressés dont 18 supérieures à 30 min

Annexe 20 : Facteurs d'émission pour les APU au poste selon la méthode simple de l'OACI

Table 3-A1-3. Values representative of APU emissions for each aircraft operation

Aircraft group	Short-haul ⁹	Long-haul
Duration of APU operation	45 min	75 min
Fuel burn	80 kg	300 kg
NO _x emissions	700 g	2400 g
HC emissions	30 g	160 g
CO emissions	310 g	210 g
PM ₁₀ emissions	25 g	40 g

Annexe 21 : Méthodologies et hypothèses pour les calculs d'émissions des GSE au poste

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs d'émissions des GSE au poste												
<p>Méthodologie de calcul</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Méthodologie de calcul d'émissions GSE OACI : approche avancée (Eq. A2-3 page.3-A2-7) <p>Les émissions des GSE sont calculées pour l'inventaire 2019, selon une méthodologie du guide de l'OACI 9889.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> $\text{Emission}_{\text{polluant}} [\text{g/GSE}] = \text{Puissance moteur} \times \text{facteur de charge} \times \text{facteur d'émission} \times \text{Temps d'utilisation} \times \text{DF}$ </div> <p> Puissance moteur [kW] Facteur de charge [%] = Pourcentage d'utilisation du moteur en activité au poste Facteur d'émission [g/kWh] = issu des normes Européennes (directive EC initial 97/68/EG et ses amendements) Temps d'utilisation [h] $\text{DF (Facteur de détérioration)} = 1 + A \times \left(\frac{\text{Age GSE}}{\text{Espérance de vie GSE}} \right)^B$ </p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Facteur A</th> </tr> <tr> <th>CO</th> <th>HC</th> <th>NOx</th> <th>PM10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.151</td> <td>0.03</td> <td>0.01</td> <td>0.47</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cette approche est assez semblable au calcul d'émissions appliqué dans l'étude de l'aéroport de Zurich⁴¹. 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>En première approche, la part des véhicules électriques dans le parc de GSE n'a pas encore été pris en compte (100% du parc est considéré comme thermiques et émissifs) et l'espérance de vie des GSE a été considérée comme celle de l'âge moyen de la famille (soit $\frac{\text{Age GSE}}{\text{Espérance de vie GSE}} = 1$).</p> <p>Des travaux de recherche bibliographique et d'étude de l'historique du parc doivent être menés pour mieux estimer ces paramètres, afin qu'ils soient intégrés dans les travaux futurs.</p>	Facteur A				CO	HC	NOx	PM10	0.151	0.03	0.01	0.47
Facteur A													
CO	HC	NOx	PM10										
0.151	0.03	0.01	0.47										
<p>Campagne d'observation des GSE aux postes</p>	<p>Une campagne de recensement du parc et des durées d'utilisation au poste avion des GSE a été menée par les équipes du Laboratoire du Groupe ADP en 2018 à Paris-Charles de Gaulle.</p> <p>Afin de trouver un compromis entre la fiabilité des résultats et la charge de travail nécessaire pour réaliser la campagne d'observations, une étude statistique a été menée, basée sur le nombre de mouvements avion annuels en 2017 sur l'aéroport de Paris-Charles de Gaulle. Les observations ont été réparties selon, les types avions (Heavy, Jumbo, Medium) et selon les types de postes (au large et au contact), pour différentes marges d'erreur, proportionnellement au trafic observé sur la plateforme de Paris-Charles de Gaulle.</p> <p>A l'issue de cette étude, les équipes du Laboratoire du groupe ADP ont choisi de réaliser 100 observations de rotations (vol Arrivée et Départ), ce qui permet d'atteindre 10% de marge d'erreur pour 95% de taux de confiance. Les rotations à observer ont ensuite été réparties de façon à être représentatives du trafic avion sur les différents terminaux de l'aéroport Paris-Charles de Gaulle. (Cf. Annexe 22)</p> <p>Les mesures ont été réalisées sur une période de 10 mois (de janvier à novembre 2018), ce qui a permis d'obtenir une bonne représentativité de la variabilité saisonnière de l'utilisation des GSE.</p> <p>Certaines rotations sont plus représentatives du trafic sur Paris-Charles-de-Gaulle, notamment les rotations d'avion médium au contact au terminal 2F, qui représentent près de 24 % du trafic. Sur les 100 rotations de la campagne, 86 ont été observées au contact et 14 au large.</p>												

⁴¹ https://www.zurich-airport.com/~/_media/flughafenzh/dokumente/das_unternehmen/laerm_politik_und_umwelt/luft/2014_gse_emissionmeth_zrh.pdf

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 14 ci-dessous.

Tableau 14: Synthèses des données moyennes (âge, puissance, facteurs de charge et type de norme) pour les 19 familles d'engins recensés, après l'étude du parc GSE sur Paris-Charles de Gaulle en 2018

FAMILLES GSE	AGE MOYEN	FACTEURS DE CHARGE OACI	TYPE DE NORME	PUISSANCE MOYENNE EN KW	PUISSANCE OACI KW
ACU	19	0,50	NRMM	108,53	150,00
ASU	18	0,90	NRMM	388,00	150,00
BUS	13	0,30	EURO		100,00
CAMION AVITAILLEUR	11	0,30	EURO		90,00
CAMION EAU SANITAIRE	9	0,25	EURO	117,24	120,00
CAMION PL	11	0,25	EURO	88,50	90,00
CARGO DELIVERY	11	0,25	NRMM	56,76	30,00
CATERING	14	0,18	EURO		107,50
CHARIOT ELEVATEUR	10	0,25	NRMM	41,00	65,00
DEGIVREUSE	15	0,35	NRMM	185,00	180,00
ESCALIER	15	0,25	NRMM	38,75	47,50
GPU	13	0,33	NRMM	94,34	125,00
LOADER	13	0,25	NRMM	59,42	60,00
PHMR	7	0,18	EURO		107,00
PUSH MP GP	13	0,25	NRMM	276,15	400,00
PUSH PP MP	12	0,25	NRMM	55,00	95,00
TAPIS BAGAGE	12	0,25	NRMM	49,00	33,00
TRACTEUR CARGO	11	0,50	NRMM	44,80	45,00
TRACTEUR CHARLATTE	8	0,50	NRMM		30,00

Ces données moyennes, sont intégrées dans le calcul des émissions, lorsque les puissances moyennes ne sont pas connues, l'utilisation de la puissance standard définie par l'OACI dans le doc 9889 est utilisée.

Parc GSE de Paris-Charles de Gaulle

Parc GSE de Paris-Charles de Gaulle

Facteurs d'émission NO_x, HC, CO, PM des GSE issus des norme EMNR et EURO

Les facteurs d'émission utilisés pour calculer les émissions des GSE proviennent des réglementations en vigueur lors de l'année de mise sur le marché de l'engin. Les GSE sont dans l'ensemble des engins spéciaux qui ne sont pas immatriculés et qui ne roulent qu'en zone réservée. Mais certains de ces véhicules peuvent être amenés à rouler en zone publique et sont donc pourvu d'immatriculation.

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 :

- **La norme EMNR⁴²** pour les engins mobiles non routier (dépourvu d'immatriculation) (Cf. Annexe 24)
- **La norme EURO⁴³** pour les véhicules pourvus d'une immatriculation (Cf. Annexe 25)

Temps d'utilisation des GSE au poste en fonction du type avion et type de poste

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 dans la 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 2019.

Figure 24II faut noter que l'utilisation de certains GSE n'a pas pu être observée. 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 émissions en lien avec les activités sur piste des engins et les opérations de viabilité hivernale ne sont donc pas incluses dans l'inventaire 2019.

⁴² 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)

⁴³ Règlement n° 595/2009 du Parlement européen et du Conseil du 18 juin 2009, Règlement n°2016/1718 de la Commission européenne du 20 septembre 2016 et Arrêté du 21 juin 2016 établissant la nomenclature des véhicules classés en fonction de leur niveau d'émission de polluants atmosphériques en application de l'article R. 318-2 du code de la route

Figure 24: Temps moyens observés, par famille de GSE en fonction du type avion pour les postes au contact (graphique du haut) et au large (graphique du bas)



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.

Temps d'utilisation des GSE au poste en fonction du type avion et type de poste

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

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

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

La synthèse des calculs issus de la méthodologie précédemment présentée, de l'étude du parc GSE et temps observé lors de la campagne de 2018 amène à définir les facteurs suivants (cf. Tableau 15)

Tableau 15 : Facteurs d'émission moyen par mouvement (g/mouvements) pour les GSE au poste issus de l'étude de 2018 du Laboratoire du Groupe ADP

LIB_TYPE_CONTACT	au contact				au large			
LIB_TYPE_PORTEUR	NOX_G	HC_G	CO_G	PM_G	NOX_G	HC_G	CO_G	PM_G
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'émission sont ensuite croisés avec les données trafic de Paris-Charles de Gaulle et de Paris-Orly et permettent d'estimer l'impact des GSE au poste, sur les émissions globales de chacune de ces plateformes.

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 22: Répartition des observations des GSE au poste avion au cours de la campagne de 2018 sur Paris-Charles de Gaulle⁴⁴, en fonction du terminal du type de poste et type avion.

Terminal	Type de poste	Type porteur OACI	Nombre observations
C1	Contact	HEAVY	3
		JUMBO	1
		MEDIUM	8
	Large	MEDIUM	1
C2A	Contact	HEAVY T	3
		MEDIUM	2
	Large	HEAVY	1
		MEDIUM	2
C2C	Contact	HEAVY	1
		JUMBO	1
		MEDIUM	1
C2D	Contact	MEDIUM	9
	Large	MEDIUM	2
C2E	Contact	HEAVY	12
		JUMBO	1
		MEDIUM	10
C2F	Contact	MEDIUM	24
	Large	HEAVY	1
C2G	Contact	MEDIUM	10
	Large	MEDIUM	1
CT3	Large	HEAVY	1
		MEDIUM	5
		TOTAL	100
		Contact	86
		Au large	14

⁴⁴ Les observations ont été réparties proportionnellement au trafic avion à Paris-Charles de Gaulle en 2017

Annexe 23 : Facteurs d'émission GSE au poste étude de Zurich (2003 et 2013)⁴⁵

4.2. Emission factor tables 2003

The emission table represents a GSE technology range of approximately 1988-2003.

Pier Stands						
Aircraft group	Unit	NOx	HC	CO	PM	CO ₂
Large Aircraft	kg/ac	0.793	0.063	0.267	0.050	n.a.
Medium Aircraft	kg/ac	0.727	0.058	0.243	0.045	n.a.
Small Aircraft	kg/ac	0.316	0.025	0.104	0.019	n.a.
Commuter Aircraft	kg/ac	0.267	0.021	0.085	0.015	n.a.
Turboprops	kg/ac	0.243	0.020	0.075	0.013	n.a.
Business Jets	kg/ac	-	-	-	-	-
GA Propeller Aircraft	kg/ac	-	-	-	-	-
Helicopters	kg/ac	-	-	-	-	-
Open Stands						
Aircraft group	Unit	NOx	HC	CO	PM	CO ₂
Large Aircraft	kg/ac	0.666	0.053	0.232	0.043	n.a.
Medium Aircraft	kg/ac	0.615	0.049	0.213	0.040	n.a.
Small Aircraft	kg/ac	0.251	0.020	0.087	0.016	n.a.
Commuter Aircraft	kg/ac	0.133	0.011	0.044	0.008	n.a.
Turboprops	kg/ac	0.077	0.007	0.025	0.004	n.a.
Business Jets	kg/ac	0.010	0.001	0.003	0.001	n.a.
GA Propeller Aircraft	kg/ac	0.010	0.001	0.003	0.001	n.a.
Helicopters	kg/ac	0.010	0.001	0.003	0.001	n.a.
GPU	Unit	NOx	HC	CO	PM	CO ₂
All aircraft groups	kg/h	0.588	0.046	0.178	0.031	26.14

Table 6 Emission tables 2003

4.3. Emission factor tables 2013

The emission table represents a GSE technology range of approximately 1998-2013.

Pier Stands						
Aircraft group	Unit	NOx	HC	CO	PM	CO ₂
Large Aircraft	kg/ac	0.463	0.041	0.197	0.029	43.760
Medium Aircraft	kg/ac	0.452	0.040	0.191	0.029	42.579
Small Aircraft	kg/ac	0.331	0.028	0.125	0.019	27.487
Commuter Aircraft	kg/ac	0.234	0.020	0.086	0.012	19.819
Turboprops	kg/ac	0.194	0.016	0.070	0.009	17.026
Business Jets	kg/ac	-	-	-	-	-
GA Propeller Aircraft	kg/ac	-	-	-	-	-
Helicopters	kg/ac	-	-	-	-	-
Open Stands						
Aircraft group	Unit	NOx	HC	CO	PM	CO ₂
Large Aircraft	kg/ac	0.535	0.046	0.241	0.032	51.272
Medium Aircraft	kg/ac	0.533	0.046	0.240	0.032	50.959
Small Aircraft	kg/ac	0.355	0.029	0.158	0.019	27.044
Commuter Aircraft	kg/ac	0.130	0.011	0.047	0.007	9.396
Turboprops	kg/ac	0.118	0.010	0.037	0.006	21.807
Business Jets	kg/ac	0.052	0.004	0.016	0.003	17.001
GA Propeller Aircraft	kg/ac	0.052	0.004	0.016	0.003	17.001
Helicopters	kg/ac	0.052	0.004	0.016	0.003	17.001
GPU	Unit	NOx	HC	CO	PM	CO ₂
All aircraft groups	kg/h	0.060	0.006	0.025	0.003	19.51

⁴⁵ https://www.zurich-airport.com/~media/flughafenzh/dokumente/das_unternehmen/laerm_politik_und_umwelt/luft/2014_gse_emissionmeth_zrh.pdf

Annexe 24 : Facteurs d'émission (g/kWh) issus de la norme EMNR

VERSION DE LA NORME	PUISSANCE_MOTEUR_MIN	PUISSANCE_MOTEUR_MAX	ANNEE DE FIN D'APPLICATION	ANNEE DE DEBUT D'APPLICATION	FACTEUR HC (g/kWh)	FACTEUR NOX (g/kWh)	FACTEUR HC_NOX (g/kWh)	FACTEUR CO (g/kWh)	FACTEUR PM (g/kWh)
STAGE 2	18	37	2005	2003	1,50	8,00		5,50	0,80
STAGE 3A	19	37	2017	2006	1,50	6,00	7,50	5,50	0,60
STAGE 5	19	56	2022	2018	0,94	3,76	4,70	5,00	0,02
STAGE 1	37	75	2002	1999	1,30	9,20		6,50	0,85
STAGE 3B	37	56	2017	2012	0,94	3,76	4,70	5,00	0,03
STAGE 2	38	75	2006	2003	1,30	7,00		5,00	0,40
STAGE 3A	38	75	2011	2007	0,94	3,76	4,70	5,00	0,40
STAGE 4	56	130	2018	2014	0,19	0,40		5,00	0,03
STAGE 3B	57	75	2013	2011	0,19	3,30		5,00	0,03
STAGE 5	57	130	2022	2019	0,19	0,40		5,00	0,02
STAGE 1	76	130	2002	1999	1,30	9,20		5,00	0,70
STAGE 2	76	130	2005	2003	1,00	6,00		5,00	0,30
STAGE 3A	76	130	2010	2006	0,80	3,20	4,00	5,00	0,30
STAGE 3B	76	130	2013	2011	0,19	3,30		5,00	0,03
STAGE 1	131	560	2002	1999	1,30	9,20		5,00	0,54
STAGE 2	131	560	2005	2003	1,00	6,00		3,50	0,20
STAGE 3A	131	560	2009	2006	0,80	3,20	4,00	3,50	0,20
STAGE 3B	131	560	2012	2010	0,19	2,00		3,50	0,03
STAGE 4	131	560	2017	2013	0,19	0,40		3,50	0,03
STAGE 5	131	560	2022	2018	0,19	0,40		3,50	0,02

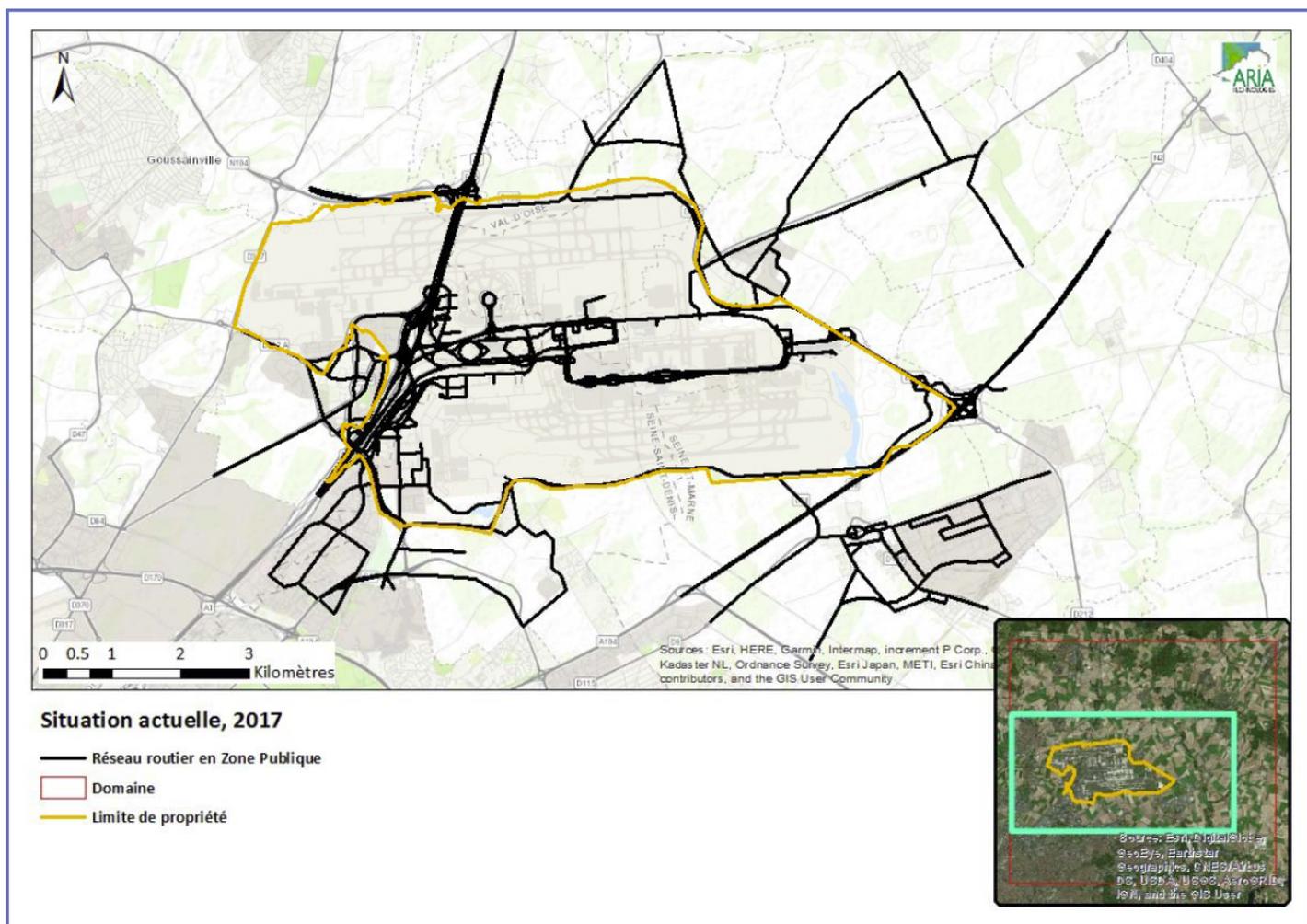
Annexe 25 : Facteurs d'émission (g/kWh) issus de la norme EURO

VERSION DE LA NORME	ANNEE DE DEBUT D'APPLICATION	ANNEE DE FIN D'APPLICATION	FACTEUR CO (g/kWh)	FACTEUR HC (g/kWh)	FACTEUR PM (g/kWh)	FACTEUR NOX (g/kWh)
EURO6	2013	2019	1,50	0,13	0,01	0,40
EURO 5	2009	2012	1,50	0,46	0,02	2,00
EURO 4	2006	2008	1,50	0,46	0,02	3,50
EURO 3	2001	2005	2,10	0,66	0,13	5,00
EURO 2	1996	2000	4,00	1,10	0,15	7,00
EURO 1	1993	1995	4,90	1,23	0,36	9,00
EURO 0	1990	1992	11,20	2,40		14,40

Annexe 26 : Méthodologies et hypothèses pour le calcul des émissions du trafic routier en zone publique et en zone réservée

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs des émissions trafic routier en zone publique et en zone réservée
Méthodologies de calculs	<p>En zone publique :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Méthodologie : COPERT (via l'outil Copert Street Level 7) ➤ Facteurs d'émission et parc de véhicules : Base moteur 2017 COPERT pour la France ➤ Trafic véhicules (comptage + catégorisation + vitesse moyenne) : Groupe ADP □ Réseau routier : Groupe ADP (cf Annexe 4) <p>Un modèle de trafic a été utilisé par Laboratoire du Groupe ADP pour étudier les risques de saturation aux heures de pointes sur les plateformes. Ce modèle a été étendu pour l'étude à une journée complète, avec simulation par pas de temps de 6 min. Le modèle a généré un jeu de données basé sur les conditions réelles de circulation pour la journée du 26 mars 2014 (journée de semaine type). Afin d'avoir une première approximation, ce résultat a été extrapolé à l'année pour les NOX (x365 jours) afin d'avoir une première estimation de cette source.</p> <p>L'exclusion de certains tronçons (notamment sur l'A1, la N2, ...) permet de différencier une partie du trafic induit par la plateforme du trafic régulier sur ces axes.</p> <p>En zone réservée :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Méthodologie : consommation de carburant associée à une distribution par normes Euro sur la base d'informations communiquées par quelques entreprises exerçant en zone réservée ➤ Facteurs d'émission et parc de véhicules : Normes Euros + Parc partiel de véhicules ➤ Trafic véhicules : Estimation des distances moyennes parcourues à partir de la consommation moyenne pour 100km <p>La compilation des données de consommation de carburant des véhicules utilitaires et véhicules légers en zone réservée permet d'estimer que la part des entreprises ayant partagées leurs informations relatives à leurs parcs (classification par norme euro, % électrique, âge, etc) représente 20% du total de l'inventaire de consommation de carburant appliqué aux véhicules.</p> <p>Sur cette base, une règle de proportionnalité est appliquée pour obtenir une première estimation approximative des émissions liées au trafic routier en zone réservée pour les NOx.</p>
Nombre de passage/ an et périmètre de l'étude	Le périmètre et les paramètres de l'étude sont présentés en Annexe 27, Annexe 28

Annexe 27 : Zone d'étude pour les émissions du trafic routier sur Paris-Charles de Gaulle (situation 2017)



Annexe 28 : Paramètres pris-en-compte pour le calcul des émissions 2017 liées au trafic routier et résultats des calculs d'émissions

	VP (véh×km/j)	PL (véh×km/j)	TOTAL (véh×km/j)
Scénario actuel, 2017	3 093 907	254 471	3 348 378

	Unités	Trafic routier en zone publique 2017
CO	t/an	499
NOx	t/an	799
PM10	t/an	50
SO ₂	t/an	6
HC	t/an	32

Annexe 29 : Méthodologies et hypothèses pour les calculs des émissions de particules du trafic ferroviaire

Paramètres	Méthodologie et hypothèses pour les calculs des émissions particules de de la source ferroviaire, issues de l'abrasion																				
Méthodologies de calculs	<p>Pour calculer les émissions de particules (TSP, PM₁₀, PM_{2.5}) issues de l'abrasion des freins, des roues, des rails et des caténaires liés au trafic ferroviaire sur la plateforme de Paris-Charles-de Gaulle, la méthodologie de calcul issus du rapport OMINEA 2020⁴⁶ est la suivante :</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> $\text{Emissions}_{\text{polluant}} = \sum_{\text{ligne}} (\text{kilomètres parcourus}_{\text{ligne}} \times \text{Facteur d'émission}_{\text{polluant}})$ </div> <ul style="list-style-type: none"> • Emissions_{polluant} : (Tonnes/an) • Kilomètre parcouru (km/an) • Facteur d'émission_{polluant} (Tonnes/km) : Facteur Base OMINEA 2018 																				
Nombre de passages et kilomètres parcourus	<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, 2019 pour chaque ligne (TGV, RER B, CDG VAL ligne 1 et CDG VAL ligne 2) utilisé pour le calcul des émissions des particules issues de l'abrasion est détaillé dans le tableau suivant :</p> <table border="1" data-bbox="384 954 1469 1310"> <thead> <tr> <th>Lignes</th> <th>Nombre de Passage/ an</th> <th>Longueur des voies sur la plateforme (km)⁴⁷</th> <th>Nombre de kilomètre parcouru en 2019</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TGV</td> <td>15 000⁴⁸</td> <td>4,37</td> <td>65 550</td> </tr> <tr> <td>RER B</td> <td>110 240</td> <td>6</td> <td>66 144</td> </tr> <tr> <td>CDGVAL ligne 1</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>663 680</td> </tr> <tr> <td>CDGVAL ligne 2 (LISA)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>512 685</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. Le nombre de passage de TGV en 2019 est estimé par la SNCF à 15 000 (estimation à 25 550 par la SNCF en 2016). La longueur des voies a été déterminée via Open data SNCF + info SIG.</p> <p>Pour CDG VAL ligne 1 et 2, le nombre de kilomètres parcourus par an est directement transmis par le Groupe ADP.</p> <p>L'ensemble des voies se trouvant dans l'emprise de la plateforme de Paris-Charles de Gaulle y compris celles souterraines ont été prises en compte dans le calcul des émissions.</p> <p>Le calcul des émissions sous-terraines dans l'inventaire des émissions devra être discuté avec des experts, pour écarter ou non cette hypothèse possiblement majorante</p>	Lignes	Nombre de Passage/ an	Longueur des voies sur la plateforme (km) ⁴⁷	Nombre de kilomètre parcouru en 2019	TGV	15 000 ⁴⁸	4,37	65 550	RER B	110 240	6	66 144	CDGVAL ligne 1	-	-	663 680	CDGVAL ligne 2 (LISA)	-	-	512 685
Lignes	Nombre de Passage/ an	Longueur des voies sur la plateforme (km) ⁴⁷	Nombre de kilomètre parcouru en 2019																		
TGV	15 000 ⁴⁸	4,37	65 550																		
RER B	110 240	6	66 144																		
CDGVAL ligne 1	-	-	663 680																		
CDGVAL ligne 2 (LISA)	-	-	512 685																		

⁴⁶ https://www.citepa.org/wp-content/uploads/Citepa_Ominea_ed2020.pdf page 283

⁴⁷ Source : Open data SNCF + info SIG

⁴⁸ Estimation SNCF majorante

- **Pour les TGV et le RER** les facteurs d'émission **TSP, PM₁₀, PM_{2.5}** utilisés provenant de Base OMINEA 2018⁴⁹ sont les suivants :

Base OMINEA 2018 SECTEUR_NFR	Polluant	Source de l'abrasion	Facteur d'émission (g/km)
1.A.3.c	PM10	Freinage	5
1.A.3.c	PM2.5	Freinage	2
1.A.3.c	TSP	Freinage	16
1.A.3.c	PM10	Roue/Rail	3
1.A.3.c	PM2.5	Roue/Rail	1
1.A.3.c	TSP	Roue/Rail	7
1.A.3.c	PM10	Caténaires	0
1.A.3.c	PM2.5	Caténaires	0
1.A.3.c	TSP	Caténaires	0

Les émissions liées au freinage sont calculées pour l'ensemble des kilomètres parcourus.

Pour le CDGVAL Ligne 1 et 2 les facteurs d'émission **TSP, PM₁₀, PM_{2.5}** utilisés provenant de la Direction générale de l'énergie et du climat⁵⁰ sont les suivants :

Polluant	Source	Facteur d'émission pour deux essieux (g/km)
PM10	Abrasion des freins et des pneus	0,059
PM2.5	Abrasion des freins et des pneus	0,0316
TSP	Abrasion des freins et des pneus	0,0777

Le facteur est à multiplier par le nombre d'essieux sur la rame. Pour le CDG VAL, il y a 2 essieux (bogies) par voiture (2 voitures/rames), soit 4 essieux par rame.

Les facteurs d'émission présentés ci-dessus sont donc à multiplier par deux pour les rames du CDGVAL.

**Facteurs d'émission
TSP, PM₁₀, PM_{2.5}**

⁴⁹ https://www.citepa.org/wp-content/uploads/BDD_OMINEA_A_EF-d_ed2020.xlsx

⁵⁰ https://www.lcsqa.org/system/files/rapport/MTES_Guide_methodo_elaboration_inventaires_PCIT_mars2019.pdf page 485 (Facteur EMEP Guidebook 2016 méthode tier 1, catégorie "Heavy-duty vehicles")

Annexe 30 : Synthèse des émissions (en tonnes) calculées en 2019 pour chacune des sources et pour chaque polluants à Paris-Charles de Gaulle

POLLUANT	APU	CTFE	Ferroviaire_abrasion	GSE	LTO_Abrasion	LTO_Approche	LTO_decollage	LTO_montée	LTO_Roulage arrivée	LTO_Roulage départ	Trafic_routier
NOX	193,90	27,40	0,00	59,42	0,00	617,39	1 219,27	2 321,93	211,03	364,65	804,00
CO	105,70	2,70	0,00	67,07	0,00	131,02	12,40	32,70	1 301,49	2 230,42	500,00
HC	10,20	0,00	0,00	13,09	0,00	9,30	1,90	4,90	145,22	248,04	32,00
SO2	24,00	0,40	0,00	0,00	0,00	53,81	35,11	89,51	45,21	77,61	6,00
PM10	18,80	0,00	6,39	5,39	47,00	4,00	3,27	7,70	3,60	6,30	50,00
PM2,5	15,90	0,00	2,35	0,00	28,00	3,40	2,70	6,50	3,10	5,30	0,00

Annexe 31 : Synthèse des émissions (en tonnes) calculées en 2019 pour chacune des sources et pour chaque polluants à Paris-Orly

POLLUANT	APU	CTFE	Ferroviaire_abrasion	GSE	LTO_Abrasion	LTO_Approche	LTO_decollage	LTO_montée	LTO_Roulage arrivée	LTO_Roulage départ	Trafic_routier
NOX	59,40	1,93	0,00	20,15	0,00	179,21	306,52	607,33	48,35	84,61	0,00
CO	25,40	0,01	0,00	23,36	0,00	49,10	4,40	11,60	276,46	487,44	0,00
SO2	7,40	0,05	0,00	0,00	0,00	17,60	11,20	29,80	10,74	18,80	0,00
HC	1,70	0,00	0,00	4,50	0,00	2,90	0,60	1,60	23,73	41,94	0,00
PM10	4,40	0,00	0,00	1,95	21,00	1,40	1,10	2,70	0,83	1,46	0,00
PM2,5	3,70	0,00	0,00	0,00	12,00	1,24	0,95	2,34	0,70	1,20	0,00

Annexe 32 : Synthèse des émissions calculées (en tonnes) en 2019 pour chacune des sources et pour chaque polluants à Paris-Le Bourget

POLLUANT	APU	CTFE	Ferroviaire_abrasion	GSE	LTO_Abrasion	LTO_Approche	LTO_decollage	LTO_montée	LTO_Roulage arrivée	LTO_Roulage départ	Trafic_routier
CO	29,50	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	0,82	3,00	29,21	28,93	0,00
NOX	16,55	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	13,00	28,00	2,50	2,47	0,00
HC	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	1,57	0,05	0,00	7,52	7,50	0,00
SO2	3,26	0,00	0,00	0,00	0,00	1,29	0,70	1,84	0,69	0,68	0,00
PM10	1,17	0,00	0,00	0,00	5,20	0,18	0,13	0,32	0,09	0,09	0,00
PM2,5	0,98	0,00	0,00	0,00	3,00	0,15	0,11	0,27	0,08	0,08	0,00