

*À l'attention de Monsieur le Président de  
l'ACNUSA*

# **Etude sur l'optimisation environnementale du roulage au sol des avions, sur les plateformes aéroportuaires françaises**

Synthèse portant sur l'analyse des données fournies par ADP pour  
les aéroports de Paris-Orly et Paris-CDG

25 juillet 2012

*Contact BIPE : Pierre-Yves Savidan, 01 70 37 23 19, pierre-yves.savidan@bipe.fr*

© BIPE 2012



## Sommaire

<b>PREAMBULE .....</b>	<b>5</b>
<b>PARTIE 1 : BREF RAPPEL DES RESULTATS DE L'ETUDE INITIALE ET DU BESOIN D'APPROFONDISSEMENT .....</b>	<b>6</b>
<b>PARTIE 2 : COMMENT AVONS-NOUS REALISE CES APPROFONDISSEMENTS ? .....</b>	<b>7</b>
<b>PARTIE 3 : PRESENTATION DES PRINCIPAUX RESULTATS.....</b>	<b>9</b>
Rappel de la flotte utilisée à Orly et à CDG en 2011 .....	9
Présentation des temps de roulage par famille avions .....	9
Présentation des émissions associées au roulage .....	11
<b>PARTIE 4 : EN QUOI CE TRAVAIL PEUT VOUS APPORTER DES LEVIERS D'OBSERVATION/ACTIONS ?.....</b>	<b>31</b>
<b>ANNEXE : NOTE TECHNIQUE TRANSMISE A ADP.....</b>	<b>32</b>



## Préambule

Pour mémoire, le BIPE a réalisé à la demande de l'ACNUSA, une étude devant permettre d'améliorer la connaissance et l'expertise de l'ACNUSA sur :

- Les inventaires d'émissions existants (acteurs, méthodologie, polluants, périmètre...);
- Le poids du roulage au sol des aéronefs (en termes de volume d'émissions) relativement aux autres sources de pollution atmosphérique directement ou indirectement liées à l'activité aéroportuaire

Ainsi, les principaux objectifs de cette étude sont de :

- Connaître en détails les dispositifs mis en œuvre sur les aéroports en France pour organiser le roulage au sol des aéronefs ;
- Expliciter les optimisations éventuellement apportées pour réduire la congestion au sol et diminuer les temps de roulage ;
- Evaluer l'efficacité des dispositifs existants ;
- Proposer des voies d'optimisation du roulage au sol s'il y a lieu et étudier la faisabilité de ces optimisations sur le ou les aéroports concernés.

Notre mission s'est déroulée en 4 étapes :

- L'étape 1 a permis de « contextualiser » et de repositionner le poids réel des émissions liées au roulage des aéronefs dans l'ensemble des émissions dues à l'activité aéroportuaire, afin de connaître la part des émissions locales que l'on cherche à optimiser.
- L'étape 2 a consisté à mener l'analyse de l'ensemble des dispositifs et des expérimentations existantes sur les aéroports français comme certains aéroports étrangers.
- L'étape 3 consiste, à la lumière des étapes précédemment menées, à analyser de manière critique l'efficacité réelle des dispositifs testés ou mis en place, l'enjeu environnemental associé à ces derniers et la faisabilité d'application de ces dispositifs sur un ou plusieurs aéroports français.
- **L'étape 4, dont le présent rapport synthétise les principaux résultats a permis, à partir des bases de données de flottes, de programmes et de performances moteurs (et des données d'ADP pour Paris-Orly et Paris-CDG), d'identifier les différences d'émissions au roulage suivant les types d'avions et leurs évolutions sur trois années.**

Notre rapport relatif à la phase 4 de notre mission est organisée en 4 parties, que nous allons successivement présenter :

- Partie 1 : Bref rappel des résultats de l'étude initiale et du besoin d'approfondissement
- Partie 2 : Comment avons-nous réalisé ces approfondissements ?
- Partie 3 : Présentation des principaux résultats
- Partie 4 : En quoi ce travail peut vous apporter des leviers d'observation/actions ?

## Partie 1 : Bref rappel des résultats de l'étude initiale et du besoin d'approfondissement

Pour mémoire la DGAC publie un bilan annuel par aéroport qui nous a incité à aller plus loin.

### Croissance annuelle moyenne des émissions de CO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>, durant la phase LTO, sur la période 2000 - 2009

	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> / Mvt	CO <sub>2</sub> / Pax	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> / Mvt	NO <sub>x</sub> / Pax
CDG	0.5%	0.3%	-1.5%	2.2%	2.0%	0.1%
ORY	-1.3%	-0.4%	-1.1%	-0.4%	0.5%	-0.3%
NCE	-1.6%	1.9%	-2.2%	1.3%	5.0%	0.7%
LYS	2.1%	2.5%	-0.9%	4.5%	4.9%	1.5%
MRS	0.8%	1.2%	-0.7%	2.7%	3.1%	1.1%
TLS	0.7%	1.9%	0.0%	2.6%	3.8%	1.9%
BOD	0.6%	1.6%	-0.4%	2.9%	3.9%	1.9%
NTE	2.9%	4.6%	-0.8%	6.4%	8.2%	2.6%
SXB	-1.8%	2.1%	4.7%	-1.6%	2.3%	4.9%
BVA	17.4%	0.2%	-5.2%	22.8%	4.9%	-0.8%
MPL	-4.3%	2.7%	-0.7%	-3.0%	4.1%	0.7%
LIL	0.6%	5.2%	-1.1%	2.9%	7.6%	1.1%
<b>Moyenne</b>	<b>0.2%</b>	<b>1.1%</b>	<b>-1.2%</b>	<b>1.9%</b>	<b>2.8%</b>	<b>0.5%</b>

Source : DGAC, 2010

Ce tableau nous a conduit à nous interroger de manière générale sur :

- la manière de combiner la baisse du CO<sub>2</sub>/pax et la hausse du NO<sub>x</sub>/pax,
- comment expliquer la croissance des CO<sub>2</sub> par mouvement à Paris-CDG ?
- Orly et Beauvais sont les seuls aéroports à voir leur efficacité environnementale en CO<sub>2</sub>/pax et NO<sub>x</sub>/pax s'améliorer, pourquoi ?

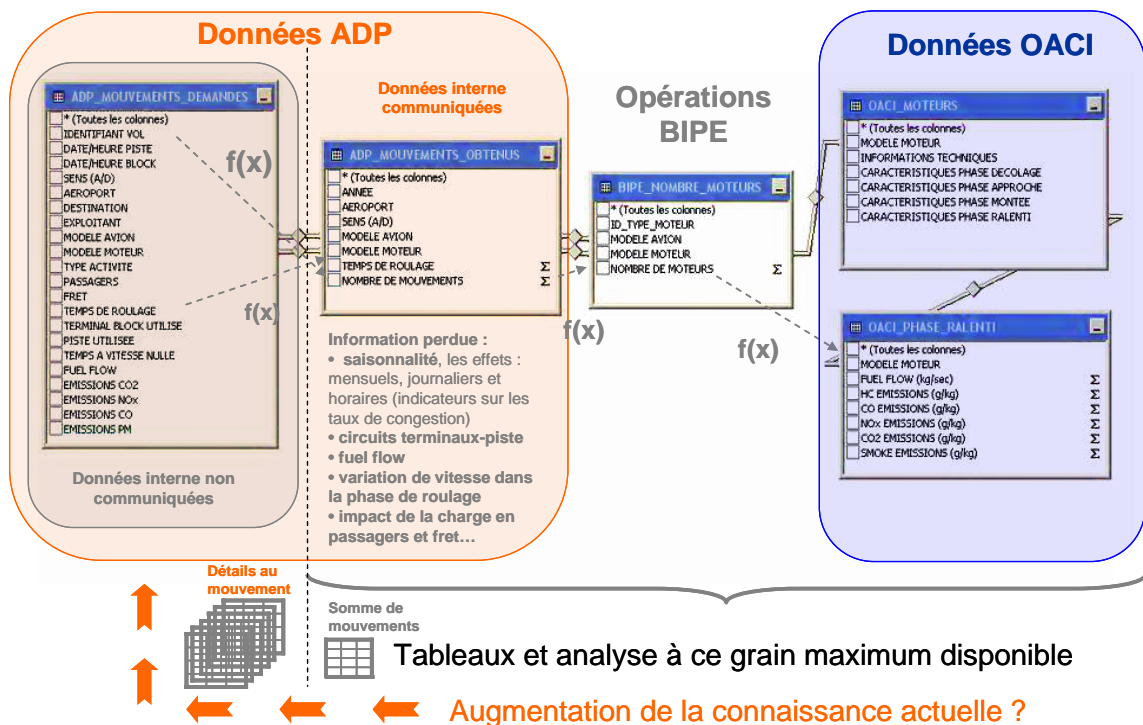
Toutefois selon les aéroports d'autres questions ou commentaires sont apparus :

- ORY - L'efficacité constatée est-elle liée à la stabilité du trafic (mvts) et au renouvellement de la flotte ?
- NCE - Pourquoi une telle baisse du CO<sub>2</sub> et une telle hausse des NO<sub>x</sub> ?
- LYS - La faible taille des modules explique-t-elle cette croissance (CO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>) ?
- MRS - Comment combiner la baisse du CO<sub>2</sub>/pax et la hausse du NO<sub>x</sub>/pax ?
- TLS - Pourquoi une telle hausse des NO<sub>x</sub>/pax ?
- BOD - La faible taille des modules explique-t-elle cette croissance (CO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>) ?
- NTE - Pourquoi une telle hausse des NO<sub>x</sub>/pax ?
- SXB - La baisse de trafic est telle que la pollution baisse en volume
- BVA - Forte efficacité unitaire, grâce à une très forte croissance
- MPL - La baisse de trafic est telle que la pollution baisse en volume
- LIL - Comment combiner la baisse du CO<sub>2</sub>/pax et la hausse du NO<sub>x</sub>/pax ?

## Partie 2 : Comment avons-nous réalisé ces approfondissements ?

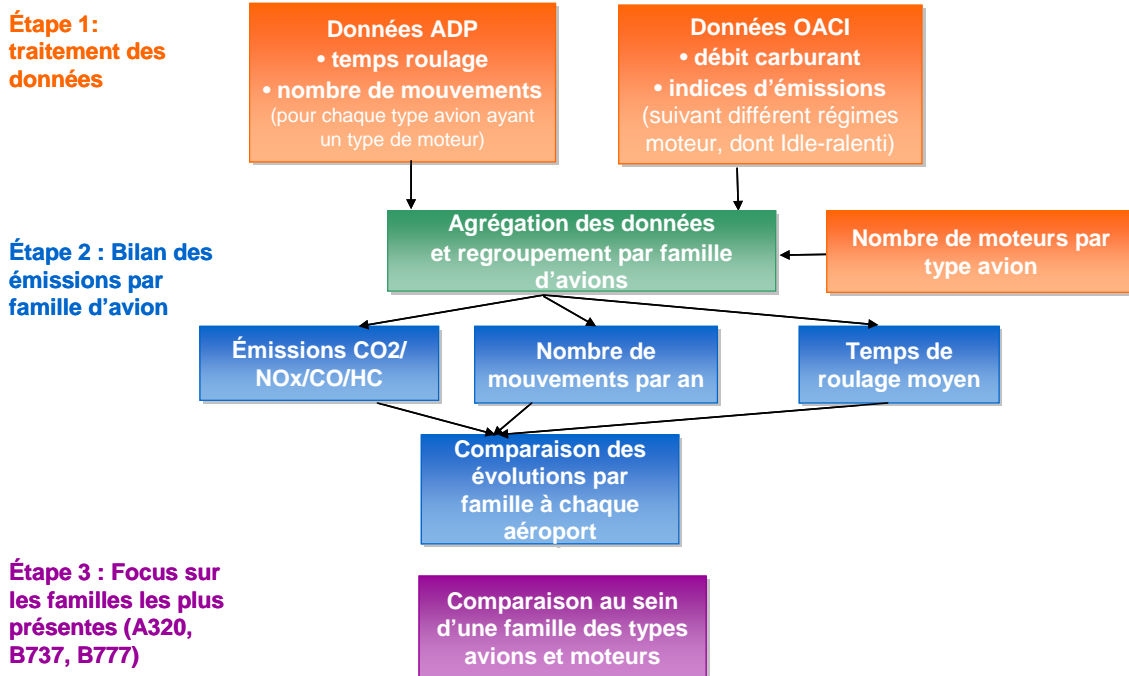
Une forte amélioration de la connaissance nécessite une information plus fine au niveau du trafic, c'est pourquoi nous avons tenu à croiser les informations dont nous disposions (données sur les performances certifiées moteurs OACI, offre aérienne) avec les données d'ADP relatives à chaque mouvement et au temps de roulage associé.

Le tableau ci-dessous explicite le croisement réalisé par le BIPE, à partir des données fournies par ADP. Ce graphique fait également apparaître les données dont dispose ADP mais qui n'ont pas été transmises à ce jour. En annexe, vous trouverez la demande formulée auprès d'ADP.



Toutefois, il est également nécessaire de rappeler, que notre travail a été réalisé sans prendre en compte les avions de type turbopropulsé, l'influence du type de pilotage, le lien entre terminal utilisé par la compagnie et piste utilisée...

Une fois ces données fournies par le laboratoire d'ADP, nous avons été en mesure de calculer les émissions par famille d'avions pour les années 2009, 2010 et 2011, Le schéma ci-dessous explicite les différentes étapes de ce calcul d'émissions.



Les principaux résultats obtenus et présentés ci-après, sont donc basés sur le croisement des données de l'OACI, d'ADP et du BIPE.

L'OACI a publié en 1995 une base de données complète concernant les valeurs de certification relatives aux émissions de réacteurs d'aéronefs. Cette base de données a été par la suite régulièrement réactualisée et est publiée régulièrement par l'OACI.

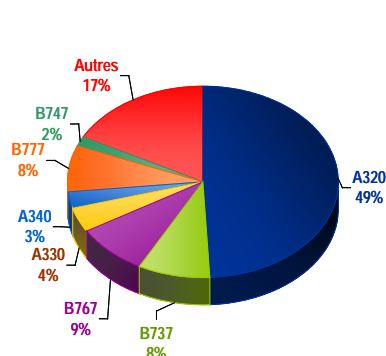


## Partie 3 : Présentation des principaux résultats

### Rappel de la flotte utilisée à Orly et à CDG en 2011

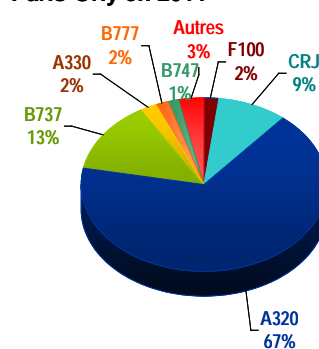
En premier lieu, il est primordial de rappeler, les caractéristiques des flottes utilisées sur les deux aéroports parisiens sur l'année 2011 : les A320 représentent près de la moitié des mouvements à CDG et près des 2/3 sur Orly. Au total les avions moyens porteurs représentent plus des 2/3 des mouvements sur ces plateformes.

Ventilation des mouvements à Paris-CDG en 2011



Source : ADP

Ventilation des mouvements à Paris-Orly en 2011



Source : ADP

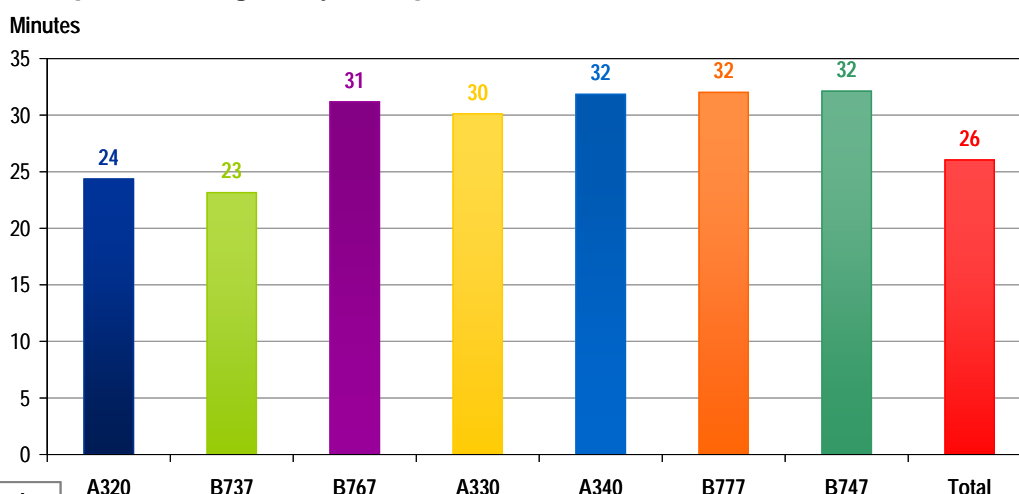
Ensuite, nous avons comparé les temps de roulage moyens sur les deux aéroports parisiens, en prenant soin d'identifier la variation de ce temps de roulage en fonction des types d'avions.

### Présentation des temps de roulage par famille avions

#### Paris-CDG

Le temps moyen de roulage à CDG est de 26 minutes, les avions long-courriers tirent à la hausse cette moyenne (+6 minutes environ)

Temps de roulage moyen départ+arrivée à CDG en 2011



Part des mouvements à CDG

A320	B737	B767	A330	A340	B777	B747
49%	8%	9%	4%	3%	8%	2%

Source : ADP

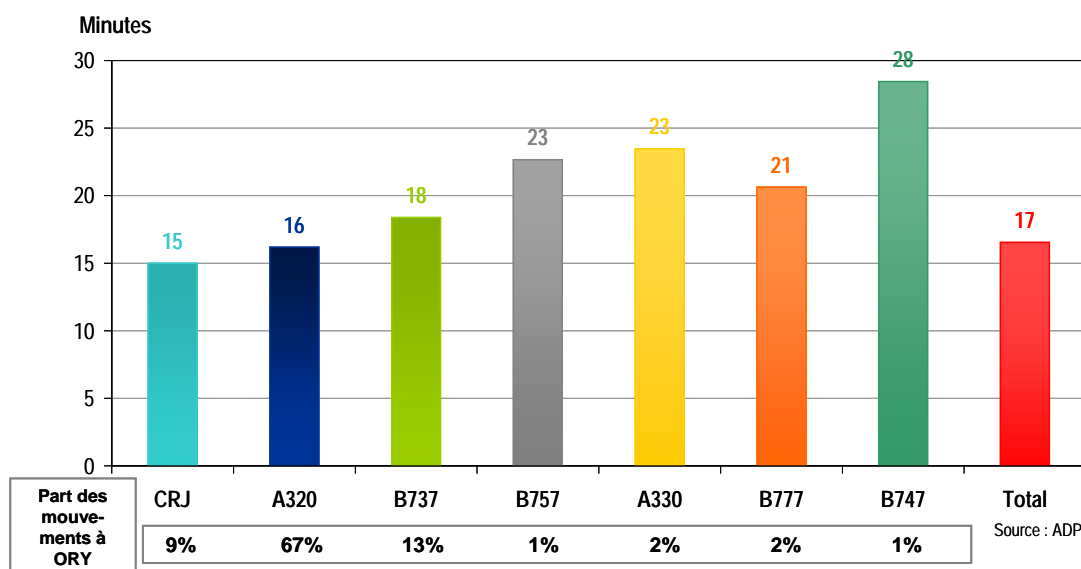
Pour mémoire, nous avons tenu à rappeler le poids de ces familles d'avion dans l'ensemble des mouvements enregistrés sur chacun de ces aéroports (cadre situé sous le graphique).

On note que le temps moyen de roulage des aéronefs sur la plateforme de CDG est égal au temps moyen de roulage théorique utilisé par l'OACI dans les calculs de certification moteur (26 minutes). Par contre, la DGAC, considère dans son calculateur Tarmaac, un temps de roulage moyen pour Paris-CDG de 24 minutes.

### Paris-Orly

Le temps moyen de roulage s'élève à 17 minutes à Orly, avec une dispersion plus forte que sur CDG

#### Temps de roulage moyen départ+arrivée à Orly en 2011



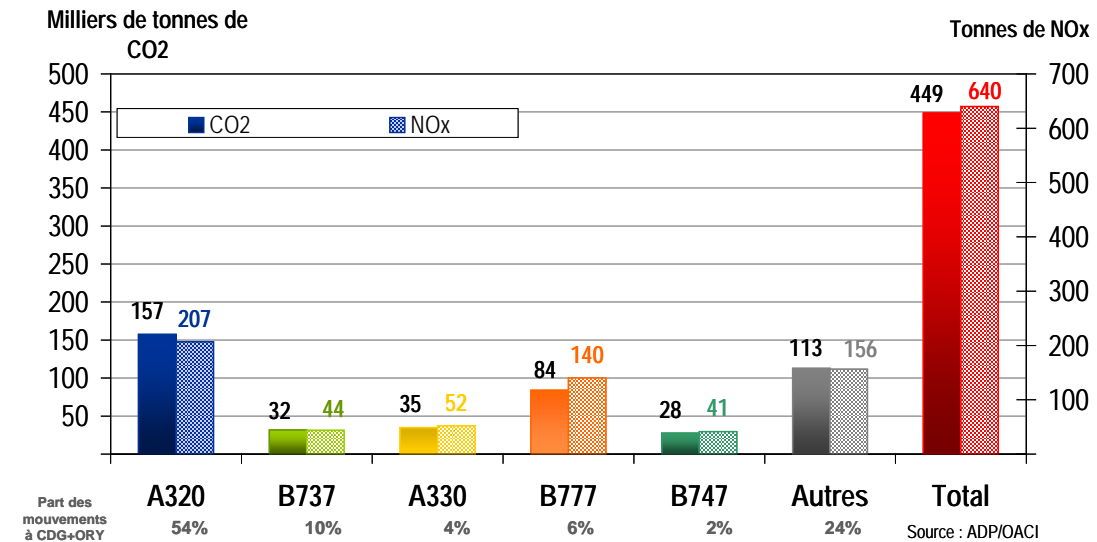
Par contre, la DGAC, considère dans son calculateur Tarmaac, un temps de roulage moyen pour Paris-Orly de 22 minutes en 2010, alors que les données d'ADP pour la même période indiquant un temps de roulage moyen de 17 minutes. Cet écart de 5 minutes est assez difficile à comprendre.

Une fois ce rappel des caractéristiques des flottes exploitées en 2011 sur les deux aéroports parisiens d'Orly et de Paris-CDG et le poids des différentes famille d'avions dans les temps de roulage enregistrés, nous présentons les bilans réalisés en termes d'émissions.

## Présentation des émissions associées au roulage

En 2011, nous enregistrons une émission au roulage de 450 000 tonnes de CO<sub>2</sub> émises et de 639 tonnes de NO<sub>x</sub> (hors APU), sur les aéroports de Paris-CDG et Paris-Orly.

### Émissions de CO<sub>2</sub> et de Nox en 2011 à CDG+ORY

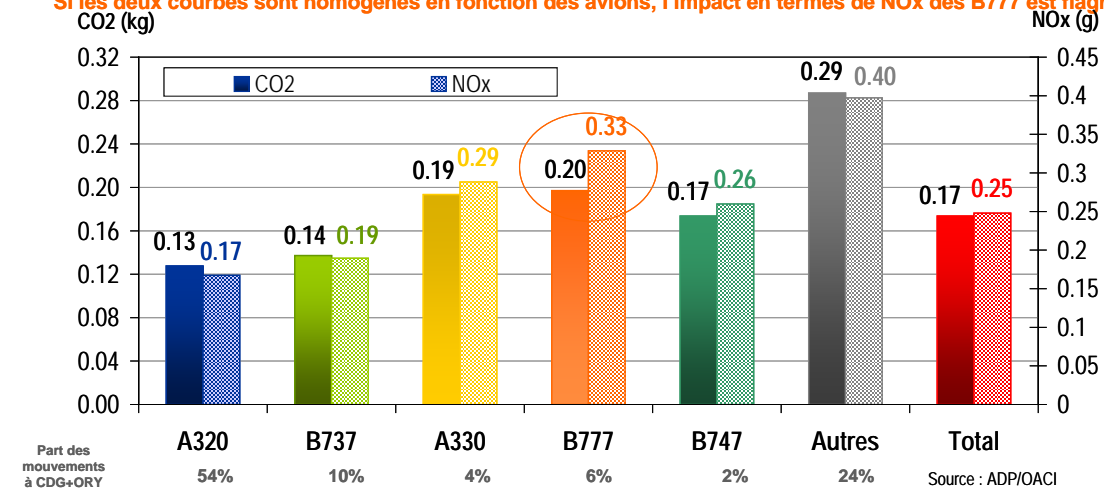


Ce graphique nous permet de constater que le poids en NO<sub>x</sub>, des B777 est très important (22%) alors que ces avions ne représentent que 6% des mouvements.

Comme l'illustre le graphique ci-dessous, la pollution en termes de NO<sub>x</sub> affiche une élasticité plus forte à la charge utile de l'appareil que les émissions de CO<sub>2</sub>.

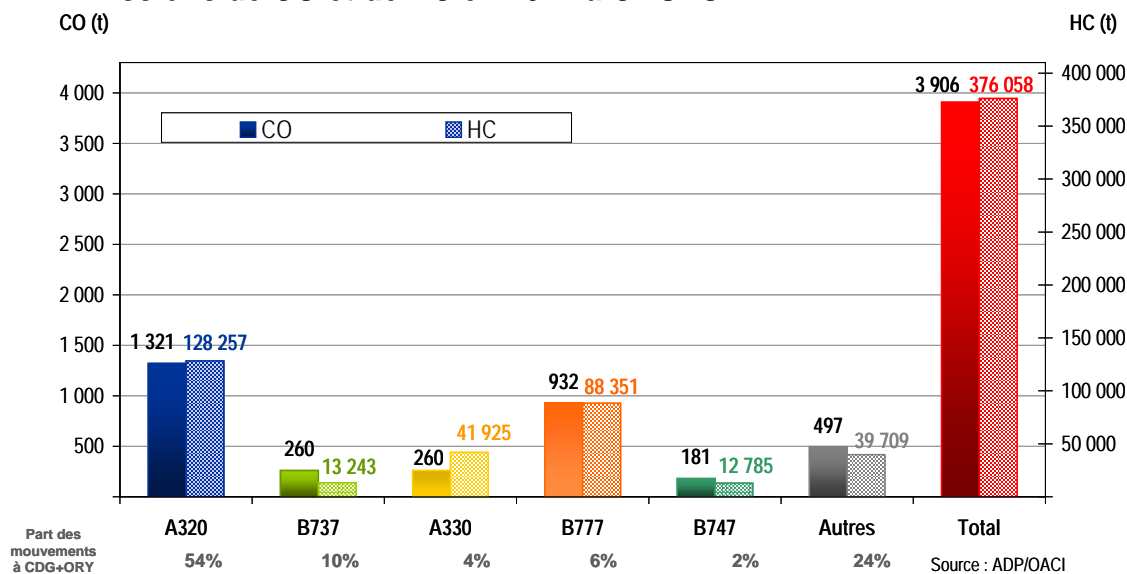
### Émissions moyennes de CO<sub>2</sub> et de Nox par minute de roulage et siège en 2011 à CDG+ORY

Si les deux courbes sont homogènes en fonction des avions, l'impact en termes de NO<sub>x</sub> des B777 est flagrant



Ce graphique qui agrège la pollution en CO<sub>2</sub> et en NO<sub>x</sub> sur les deux aéroports parisiens, montre très clairement, en utilisant des ratios de polluants par minute de roulage et de sièges offerts, que les avions de type B777 présentent une particularité en termes de NO<sub>x</sub>, qui convient de surveiller de près.

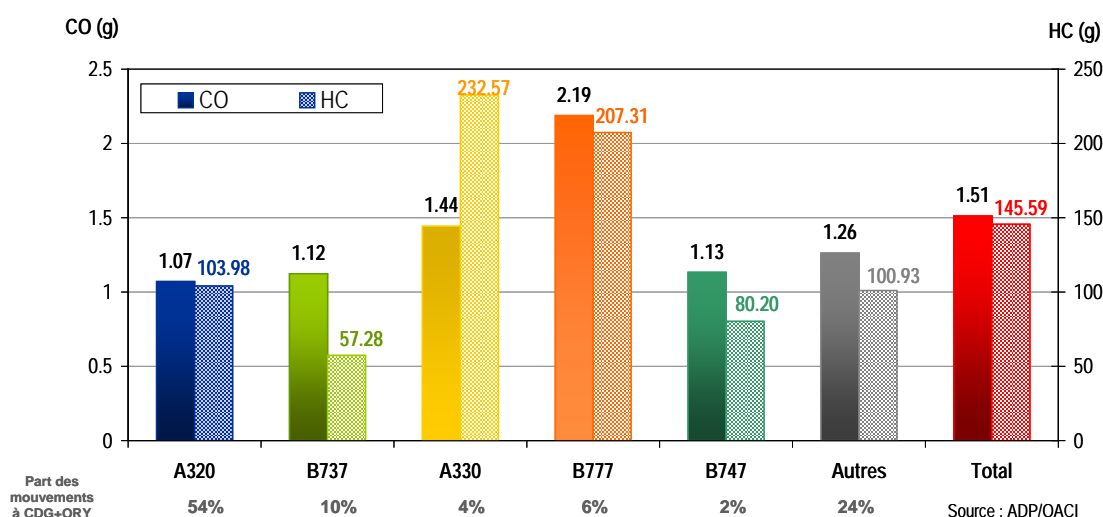
### Émissions de CO et de HC en 2011 à CDG+ORY



Au-delà du CO<sub>2</sub> et du NO<sub>x</sub>, nous avons voulu analyser le poids des familles d'avions en ce qui concerne deux autres sources de polluants, que sont les CO et les HC. En 2011, nous enregistrons une émission au roulage de 3,9 kilotonnes de CO émises et de 376 kilotonnes de HC émises sur les aéroports de Paris-CDG et Paris-Orly.

Ce graphique montre par exemple qu'en ce qui concerne les autres polluants la particularité constatée avec les B777 sur le NO<sub>x</sub>, n'apparaît pas.

### Émissions moyennes de CO et de HC par minute de roulage et siège en 2011 à CDG+ORY



Ainsi, nous constatons que parmi les gros porteurs, le B747 se distingue par de faibles émissions (par sièges minutes) tant en CO qu'en HC du fait notamment de sa grande capacité d'emport.

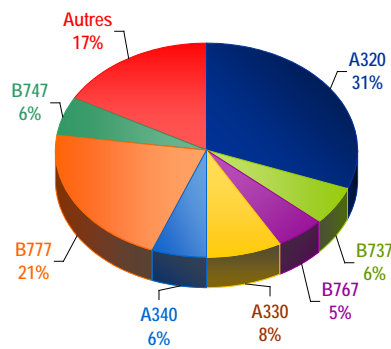
Après avoir présenté la situation en 2011, **il nous a semblé important d'analyser les évolutions constatées au cours des trois dernières années sur chacun des aéroports**

parisiens (Paris-CDG et Paris-Orly), afin d'essayer de comprendre ces dernières et de créer des indicateurs de suivi ou d'anticipation des émissions futures.

**Bilan à Paris-CDG**

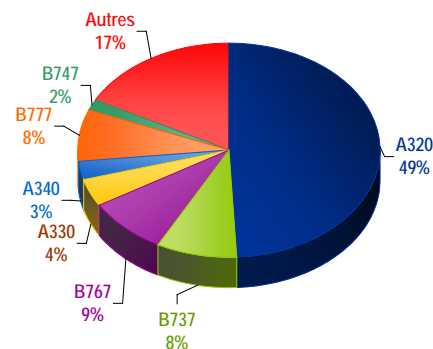
Pour mémoire les A320 représentent près de la moitié des mouvements à CDG et 31% des émissions de CO2, tandis que les B777, avions gros porteurs, émettent 21% du CO2 pour 8% des mouvements.

**Ventilation des émissions de CO2 à Paris-CDG en 2011**



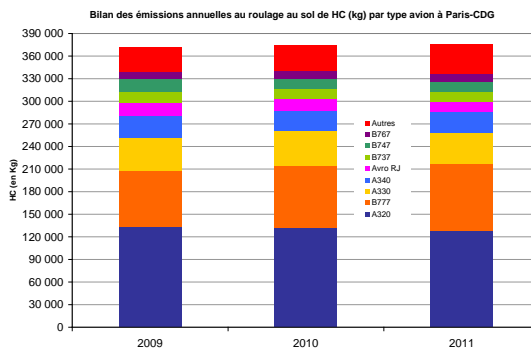
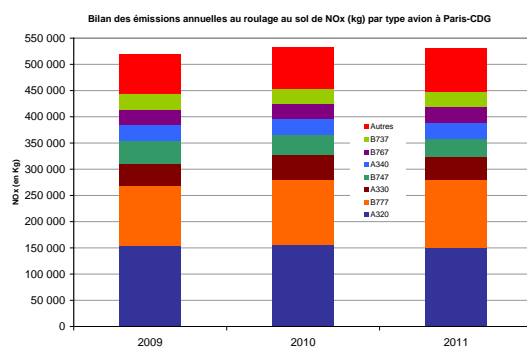
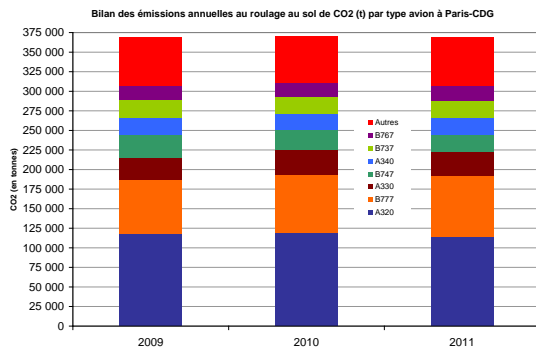
Sources : ADP/OACI

**Ventilation des mouvements à Paris-CDG en 2011**



Source : ADP

Les graphiques ci-dessous explicitent l'évolution par famille avion des émissions (pour chacun des polluants) :



Source : ADP, calculs BIPE

Nous enregistrons une très faible hausse (0,42%, soit un TCAM (Taux de croissance annuel moyen) de 0,21%) des émissions de CO<sub>2</sub> sur l'aéroport Paris-CDG entre 2009 et 2011. Les A320 qui représentent 31% des émissions de CO<sub>2</sub>, ont connu une baisse de leurs émissions (-3.3%), alors que les B777 et les A330 avions gros porteurs, émettent 29% du CO<sub>2</sub> et ont enregistré une forte hausse des émissions associées (+14.2% et +6.7%).

Nous enregistrons une croissance de 2,3% (soit 1,16% en TCAM) des émissions de NO<sub>x</sub> sur l'aéroport Paris-CDG entre 2009 et 2011. En effet, les gros porteurs (B777 et A330) enregistrent une croissance forte des NO<sub>x</sub> émis à Paris-CDG (+13.9% et +4.9%), qui les conduit à représenter à eux deux un tiers des émissions de NO<sub>x</sub>. Alors que les moyens porteurs (A320 et B737), qui représentent un tiers des émissions de NO<sub>x</sub>, enregistrent une baisse des émissions de NO<sub>x</sub> (-2.8% et -7.3%).

Nous enregistrons une croissance de 1.3% (soit 0,63% en TCAM) des émissions d'hydrocarbures sur l'aéroport Paris-CDG entre 2009 et 2011. En effet, les gros porteurs (B777 et B767) enregistrent une croissance des émissions d'Hydrocarbures à Paris-CDG (+19.7% et +13%), même si le poids des B767 (2.8% des émissions d'HC) est assez relatif au contraire des B777 (25% des émissions d'HC). Alors que les émissions d'HC de tous les autres types avions ont décré.

Ce tableau en volume a ensuite été utilisé en calculant des ratios, pour comprendre les évolutions constatées. A Paris-CDG, nous constatons donc une dégradation des émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et de HC que la baisse du temps de roulage n'a fait qu'atténuer, du fait de la croissance du poids des long-courriers.

Tableau de synthèse Paris-CDG	2009	2010	2011	2009-2011	Commentaires
<b>Emissions CO<sub>2</sub> (t)</b>	<b>368 291</b>	<b>370 945</b>	<b>369 852</b>	<b>0.42%</b>	<b>Croissance du CO<sub>2</sub> émis à Paris-CDG</b>
Nombre de mouvements	496 578	472 207	489 032	-1.52%	alors que le nombre de mouvements a décré
CO <sub>2</sub> (kg)/mouvement	742	786	756	1.97%	d'où une forte dégradation du CO <sub>2</sub> émis par mouvement
Temps de roulage moyen (s)	1 597	1 635	1 560	-2.29%	alors que le temps de roulage a significativement baissé
CO <sub>2</sub> (kg)/mouvement/minute roulage	27.9	28.8	29.1	4.36%	le CO <sub>2</sub> émis par roulage s'est beaucoup dégradé
Nombre de sièges moyen	163	167	168	3.34%	sous l'effet de la croissance des sièges offerts et des modules utilisés
CO <sub>2</sub> (kg)/mouvement/siège	4.56	4.70	4.50	-1.32%	car la pollution par siège a baissé
CO <sub>2</sub> (kg)/mouvement/minute roulage/siège	0.171	0.172	0.173	0.99%	mais pas par minute de roulage et de siège

Tableau de synthèse Paris-CDG	2009	2010	2011	2009-2011	Commentaires
<b>Emissions NO<sub>x</sub> (kg)</b>	<b>520 006</b>	<b>532 768</b>	<b>532 045</b>	<b>2.32%</b>	<b>Forte croissance des émissions de NO<sub>x</sub> à Paris-CDG</b>
Nombre de mouvements	496 578	472 207	489 032	-1.52%	alors que le nombre de mouvements a décré
NO <sub>x</sub> (g)/mouvement	1 047	1 128	1 088	3.89%	d'où une forte dégradation de NO <sub>x</sub> émis par mouvement
Temps de roulage moyen (s)	1 597	1 635	1 560	-2.29%	alors que le temps de roulage a significativement baissé
NO <sub>x</sub> (g)/mouvement/minute roulage	39.35	41.41	41.84	6.33%	le NO <sub>x</sub> émis par minute de roulage s'est beaucoup dégradé
Nombre de sièges moyen	163	167	168	3.34%	sous l'effet de la croissance des sièges offerts et des modules utilisés
NO <sub>x</sub> (g)/mouvement/siège	6.44	6.75	6.47	0.54%	la pollution par siège a légèrement crû
NO <sub>x</sub> (g)/mouvement/minute roulage/siège	0.242	0.248	0.249	2.89%	mais cette pollution a crû fortement par minute et par siège

Tableau de synthèse Paris-CDG	2009	2010	2011	2009-2011	Commentaires
<b>Emissions HC (kg)</b>	<b>371 294</b>	<b>374 185</b>	<b>376 004</b>	<b>1.27%</b>	<b>Croissance des émissions d'hydrocarbures à Paris-CDG</b>
Nombre de mouvements	496 578	472 207	489 032	-1.52%	alors que le nombre de mouvements a décré
HC (kg)/mouvement	748	792	769	2.83%	d'où une forte dégradation des HC émis par mouvement
Temps de roulage moyen (s)	1 597	1 635	1 560	-2.29%	alors que le temps de roulage a significativement baissé
HC (kg)/mouvement/minute roulage	28.10	29.08	29.57	5.24%	les HC émis par minute de roulage se sont beaucoup dégradés
Nombre de sièges moyen	163	167	168	3.34%	sous l'effet de la croissance des sièges offerts et des modules utilisés
HC (kg)/mouvement/siège	4.60	4.74	4.57	-0.49%	la pollution par siège a légèrement décré
HC (kg)/mouvement/minute roulage/siège	0.173	0.174	0.176	1.84%	mais cette pollution a crû fortement par minute et par siège

### Nous commençons par le CO<sub>2</sub>

Nous enregistrons une très faible hausse (0,42%, soit un TCAM (Taux de croissance annuel moyen) de 0,21%) des émissions de CO<sub>2</sub> sur l'aéroport Paris-CDG entre 2009 et 2011, grâce à une forte baisse du nombre de mouvements entre ces deux dates (-1,52%, soit un TCAM de -0,76%).

Nous constatons une légère augmentation du CO<sub>2</sub> émis par mouvement (+1.97%), ce qui signifie une certaine dégradation de l'efficacité environnementale (au sens du CO<sub>2</sub>) des avions utilisés.

La baisse du temps de roulage (-2.3%) n'a pas suffi à compenser la croissance des avions les plus polluants.

Les A320 représentent près de la moitié des mouvements à CDG et 31% des émissions de CO<sub>2</sub>, tandis que les B777, avions gros porteurs, émettent 21% du CO<sub>2</sub> pour 8% des mouvements.

Les gros porteurs (B777 et A330) enregistrent une croissance des mouvements et du temps de roulage ce qui dégrade le bilan environnemental en CO<sub>2</sub> de CDG.

Alors que les moyens porteurs (A320 et B737) dont le nombre de mouvements a légèrement décliné, ont réussi à améliorer le bilan environnemental en CO<sub>2</sub> grâce à une forte baisse du temps de roulage.

### NOx

Nous enregistrons une croissance de 2,3% (soit 1,16% en TCAM), alors que les mouvements et le temps de roulage ont baissé respectivement de 1,5% et de 2.29%.

**La baisse du temps de roulage et des mouvements n'ont pas permis de compenser une forte dégradation des émissions de NOx par mouvement enregistrées entre 2009 et 2011.**

En effet, les gros porteurs (B777 et A330) enregistrent une croissance des mouvements et du temps de roulage ce qui dégrade le bilan environnemental en NOx de Paris-CDG.

Alors que les moyens porteurs (A320 et B737) dont le nombre de mouvements a légèrement décliné, ont réussi à améliorer le bilan environnemental en NOx à Paris-CDG grâce à une forte baisse du temps de roulage.

### HC

Nous enregistrons une croissance de 1.3% (soit 0,63% en TCAM), alors que les mouvements et le temps de roulage ont baissé respectivement de 1,5% et de 2.29%.

**La baisse du temps de roulage et des mouvements n'ont pas permis de compenser une dégradation des émissions d'hydrocarbures par mouvement enregistrées entre 2009 et 2011.**

En effet, les gros porteurs (B777 et B767) enregistrent une croissance des mouvements et du temps de roulage ce qui dégrade le bilan environnemental en Hydrocarbures de Paris-CDG.

Alors que les moyens porteurs (A320 et B737) dont le nombre de mouvements a légèrement décliné, ont réussi à améliorer le bilan environnemental en Hydrocarbures à Paris-CDG grâce à une forte baisse du temps de roulage.

Ainsi, ce résultat pose quelques questions :

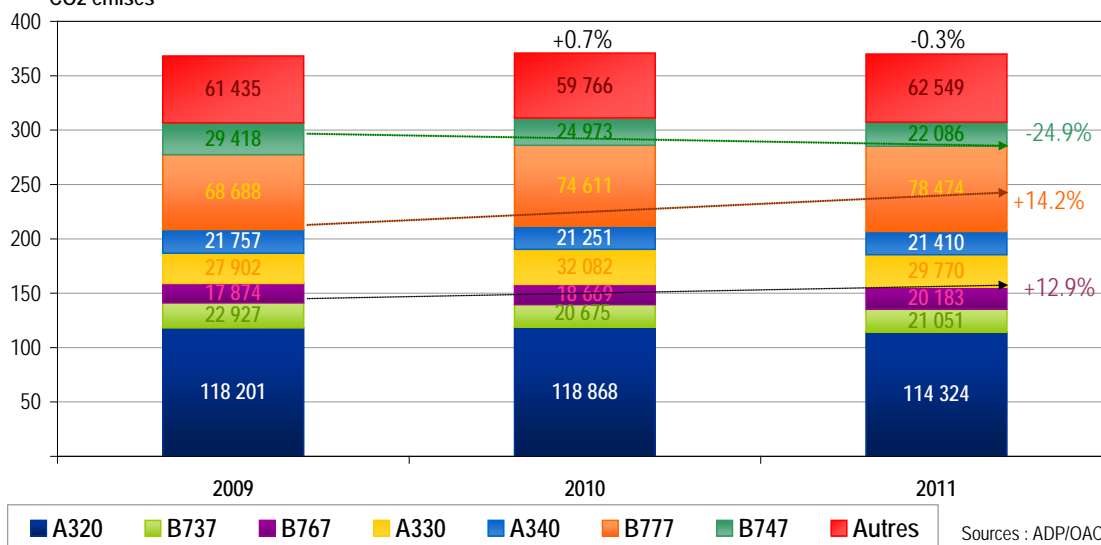
- est-ce que ce phénomène est-conjoncturel ?
- est-il possible d'anticiper les conséquences de la croissance ? Oui, en profitant par exemple des prévisions réalisées par la DGAC sur les types avions et les mouvements associés à l'horizon 2020.

## Présentation détaillée des émissions de CO<sub>2</sub> à Paris-CDG

A Paris-CDG, en 2011, les avions au roulage ont émis 370 000 tonnes de CO<sub>2</sub>, le chiffre reste stable sur les 3 années.

### Émissions de CO<sub>2</sub> au roulage à Paris CDG

Milliers de tonnes de CO<sub>2</sub> émises



Globalement, comme précisé précédemment, nous constatons une faible hausse (0,42%, soit un TCAM de 0,21%) des émissions de CO<sub>2</sub> sur l'aéroport Paris-CDG entre 2009 et 2011, grâce à une forte baisse du nombre de mouvements entre ces deux dates (-1,52%, soit un TCAM de -0,76%). Nous constatons une légère augmentation du CO<sub>2</sub> émis par mouvement qui se traduit par une certaine dégradation de l'efficacité environnementale des avions utilisés. Est-ce lié à la diminution du temps de roulage ? **Oui, le temps de roulage a baissé, mais pas suffisamment pour compenser la croissance des avions les plus polluants.**

**Les gros porteurs (B777 et A330) enregistrent une croissance des mouvements et du temps de roulage ce qui dégrade le bilan environnemental en CO<sub>2</sub> de CDG.**

Les avions long-courriers représentent la majorité des émissions de CO<sub>2</sub> et leur poids est croissant en termes d'émissions, avec des grosses différences entre les types avion :

- Les émissions de CO<sub>2</sub> des B777 ont cru (2009-2011) du fait de la croissance des mouvements. Mais les émissions de CO<sub>2</sub> par mouvement ont cru du fait de la hausse du temps de roulage moyen. Pourquoi cette augmentation ? ;
- Les émissions de CO<sub>2</sub> des A330 ont cru (2009-2011) du fait de la croissance des mouvements. Mais les émissions de CO<sub>2</sub> par mouvement ont cru alors que le temps de roulage moyen a baissé, c'est donc la performance énergétique des A330 qui s'est dégradée ;
- Les émissions de CO<sub>2</sub> des A340 et B747 ont décru (2009-2011) du fait de la décroissance des mouvements. Les émissions de CO<sub>2</sub> par mouvement ont cru en raison de la hausse du temps de roulage moyen de tous ces types avion. Ce phénomène de dégradation du temps de roulage de ces types avion est-il durable, est-il lié à des décisions particulières et va-t-il durer ?



Les autres principaux avions contributeurs en ce qui concerne les émissions de CO<sub>2</sub> sur l'aéroport Paris CDG sont les moyens-courriers (A320 et le B737). Toutefois, on constate des résultats opposés :

- A320, baisse des émissions de CO<sub>2</sub> et augmentation des mouvements, soit une baisse des émissions de CO<sub>2</sub> par mouvement en grande partie liée à la diminution du temps de roulage ;
- B737, baisse des émissions de CO<sub>2</sub>, liée en partie à une diminution des mouvements, car le CO<sub>2</sub> émis par mouvement de ce type avion baisse, mais cette baisse est liée à la diminution du temps de roulage. Enfin, le nombre de sièges moyens ayant cru, l'efficacité au siège en termes de CO<sub>2</sub> émis, s'améliore ;
- Du coup, comment expliquer cette baisse du temps de roulage pour les moyens-courriers, si ce n'est par des affectations de compagnies à des postes avions et/ou à des pratiques compagnies ? Enfin, est-ce que les progrès constatés peuvent continuer et si oui pourquoi et comment ?

Enfin, les autres types avions représentent un poids non nul (20%) dans les émissions de CO<sub>2</sub> sur l'aéroport Paris-CDG mais ce poids augmente faiblement.

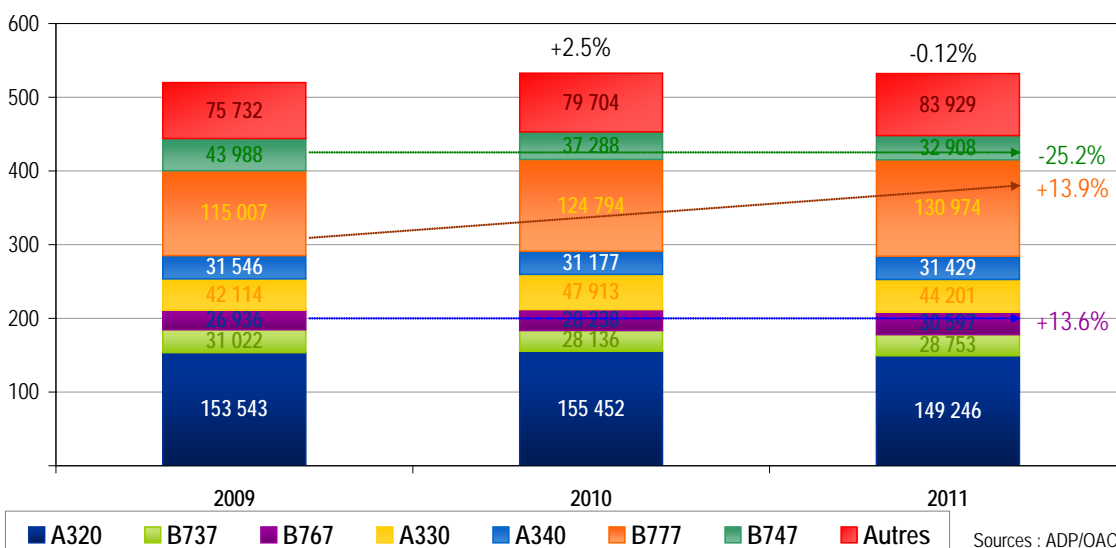
Nous présentons successivement les autres résultats obtenus, en les distinguant par type de polluant, NOx et HC.

### Présentation détaillée des émissions de NOx à Paris-CDG

En 2011, 532 tonnes de NOx ont été émises au roulage à Paris-CDG, la croissance des émissions de NOx en 2010 est supérieure à la croissance des émissions de CO<sub>2</sub>.

## Émissions de NOx au roulage à Paris CDG

Tonnes de NOx émises



Malgré la diminution du temps de roulage moyen et la baisse des mouvements, les émissions de NOx ont cru à Paris-CDG. Pourquoi ?

- Les émissions de NOx à Paris-CDG ont cru de 2,3% (soit 1,16% en TCAM), alors que les mouvements et le temps de roulage ont baissé respectivement de 1,5% et de 2.29%.

- La baisse du temps de roulage et des mouvements n'ont pas permis de compenser une forte dégradation des émissions de NOx par mouvement enregistrées entre 2009 et 2011.
- Le nombre moyen de sièges des avions exploités à Paris-CDG en 2011 a augmenté de 3% et les émissions de NOx par mouvement au siège ont très faiblement cru.
- L'augmentation des émissions de NOx est donc en grande partie liée à celle des modules.

**Les gros porteurs (B777 et A330) enregistrent une croissance des mouvements et du temps de roulage ce qui dégrade le bilan environnemental en NOx de Paris-CDG. Cette analyse doit être distinguée selon le type d'avions.**

*Long-courrier* (plus de la moitié des émissions de NOx au roulage à Paris-CDG)

- Les émissions de NOx des B777 ont fortement cru et elles représentent, en 2011, 25% des émissions de NOx liées au roulage. La performance de chaque mouvement de B777 s'est dégradée hors effet temps de roulage (qui a cru très faiblement). Pourquoi ?
- Les émissions de NOx des A330 se sont dégradées (+5 % d'émissions entre 2009 et 2011). On constate une petite dégradation des émissions de NOx par mouvement alors que le temps de roulage de 2011 est à peine plus faible que celui de 2009, La faible baisse du temps de roulage a permis de compenser une légère dégradation des NOx émis par mouvement.
- Forte baisse des émissions de NOx des B747 et des mouvements (2009 à 2011). Le temps de roulage légèrement supérieur (1%) explique en partie la croissance des émissions par mouvement (2%). L'augmentation des émissions par mouvement pour une minute de roulage est liée à l'augmentation de la capacité sièges. Changement de stratégie des opérateurs et/ou modification des opérateurs utilisant des B747 ?
- Les A340 ont vu leurs émissions de NOx légèrement diminuer (-0,4%) grâce à la baisse des mouvements qui a compensé la très légère hausse du temps de roulage. Les émissions par mouvement ont légèrement augmenté, même ramenées à une minute de roulage. Cette perte de performance peut être expliquée par l'âge, le type moteur...
- La performance des B767 s'est dégradée en 2 ans (+14% d'émissions) alors que les mouvements ont augmenté (+11%). Cette dégradation n'est pas liée au temps de roulage qui est très faiblement croissant. Même si le poids des émissions des B767 est faible (6% en 2011), le rythme de dégradation nécessite d'y porter attention.

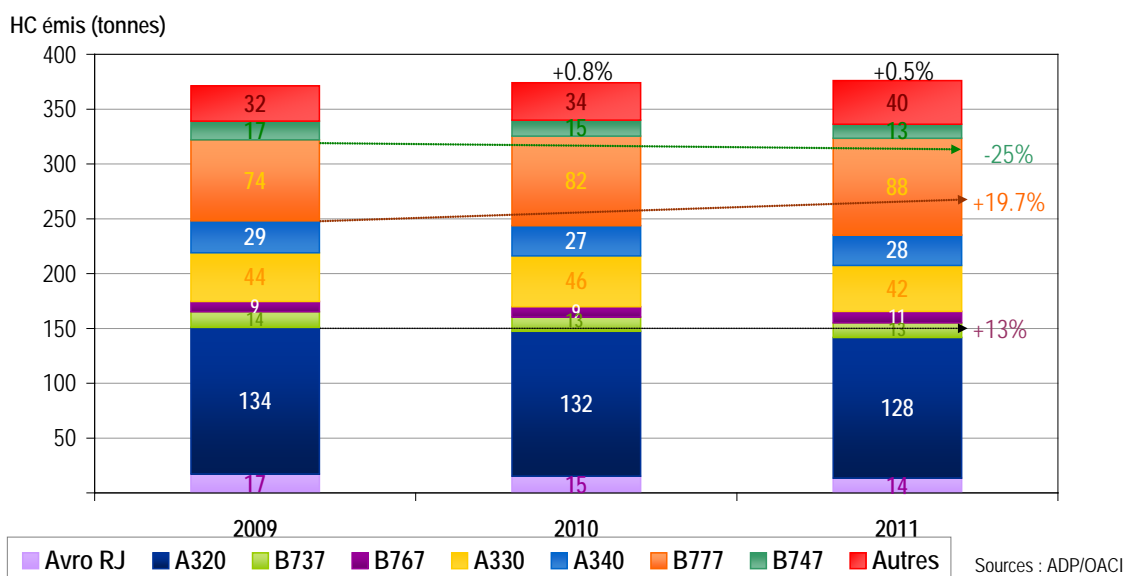
*Moyen-courrier* (un poids très important en mouvements, à Paris-CDG en 2011, des A320 au contraire des B737)

- Les A320 à Paris-CDG représentent près d'un tiers des émissions de NOx et la moitié des mouvements. Les émissions ont baissé de 2,8% grâce à une forte baisse du temps de roulage moyen (-3,8%) car les mouvements ont légèrement augmenté (+0,5%). Ce phénomène très positif et ayant un impact très fort sur le bilan en terme de NOx est-il durable ?
- Les émissions des B737 ont aussi fortement baissé (-7,3%) grâce à la baisse des mouvements et du temps de roulage moyen. De plus, la capacité sièges des B737 ayant cru, le gain de performance est d'autant plus fort. Ce phénomène très positif a un impact assez faible sur le bilan en terme de NOx, peut-il toutefois continuer et pourquoi ?

## Présentation détaillée des émissions d'hydrocarbures (HC) à Paris-CDG

En 2011, 376 tonnes d'hydrocarbures ont été émises au roulage à Paris-CDG, la croissance des émissions d'hydrocarbures en 2011 est supérieure à la croissance des émissions de CO<sub>2</sub>, mais inférieure à celles des NOx.

### Émissions de HC au roulage à Paris CDG



Malgré la diminution du temps de roulage moyen et la baisse des mouvements, les émissions de d'hydrocarbures ont cru à Paris-CDG. Pourquoi ?

- Les émissions d'hydrocarbures à Paris-CDG ont cru de 1.27% (soit 0,63% en TCAM), alors que les mouvements et le temps de roulage ont baissé respectivement de 1,5% et de 2.29%.
- La baisse du temps de roulage et des mouvements n'ont pas permis de compenser une dégradation des émissions d'hydrocarbures par mouvement enregistrées entre 2009 et 2011.
- Le nombre moyen de sièges des avions exploités à Paris-CDG en 2011 a augmenté de 3% et les émissions de d'hydrocarbures par mouvement au siège ont très faiblement cru.
- L'augmentation des émissions d'hydrocarbures est donc en grande partie liée à celle des modules.

**Les gros porteurs (B777 et B767) enregistrent une croissance des mouvements et du temps de roulage ce qui dégrade le bilan environnemental en hydrocarbures de Paris-CDG. Cette analyse doit être distinguée selon le type d'avions.**

*Long-courrier* (plus de la moitié des émissions d'hydrocarbures au roulage à Paris-CDG)

- Les émissions d'hydrocarbures des B777 ont fortement cru et elles représentent, en 2011, 23% des émissions d'hydrocarbures liées au roulage. La performance de chaque mouvement de B777 s'est dégradée (de 10%) hors effet temps de roulage (qui a cru très faiblement (2%)). Pourquoi ?

- Les émissions d'hydrocarbures des A330 ont diminué (-6 % d'émissions entre 2009 et 2011), alors que les mouvements de ce type d'avions ont cru de 4%. On constate une forte amélioration (-10%) des émissions d'hydrocarbures par mouvement alors que le temps de roulage de 2011 est identique celui de 2009. Ce phénomène très intéressant d'un point de vue environnemental doit être surveillé pour savoir si par exemple les couples avions-moteurs de type A330 sont désormais plus efficaces en émissions d'hydrocarbures.
- Les A340 ont vu leurs émissions d'hydrocarbures diminuer (-5%) grâce à la baisse des mouvements (-3%) qui a compensé la très légère hausse du temps de roulage. Les émissions par mouvement ont légèrement baissé, même ramenées à une minute de roulage. Ce gain de performance peut être expliqué par l'âge, le type moteur...
- Forte baisse des émissions d'hydrocarbures des B747 et des mouvements (2009 à 2011). Le temps de roulage légèrement supérieur (1%) explique en partie la croissance des émissions par mouvement (2%). L'augmentation des émissions par mouvement pour une minute de roulage est liée à l'augmentation de la capacité sièges. Changement de stratégie des opérateurs et/ou modification des opérateurs utilisant des B747 ?
- La performance des B767 s'est dégradée en 2 ans (+13% d'émissions) alors que les mouvements ont augmenté (+11%). Cette dégradation n'est pas liée au temps de roulage qui est très faiblement croissant. Même si le poids des émissions des B767 est faible (6% en 2011), le rythme de dégradation nécessite d'y porter attention.

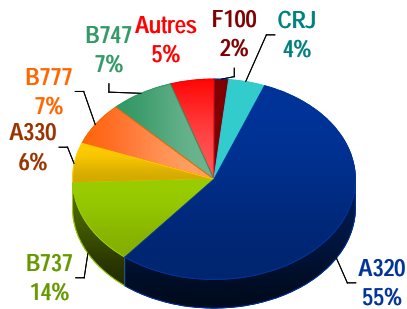
*Moyen-courrier* (un poids très important en mouvements, à Paris-CDG en 2011, des A320 au contraire des B737)

- Les A320 à Paris-CDG représentent plus d'un tiers des émissions d'hydrocarbures et la moitié des mouvements. Les émissions ont baissé de 4% grâce à une forte baisse du temps de roulage moyen (-3,8%) car les mouvements ont légèrement augmenté (+0,5%). Ce phénomène très positif et ayant un impact très fort sur le bilan en termes d'hydrocarbures est-il durable ?
- Les émissions des B737 ont aussi fortement baissé (-7%) grâce à la baisse des mouvements (-5%) et du temps de roulage moyen (-2%). De plus, la capacité sièges des B737 ayant cru, le gain de performance est d'autant plus fort. Ce phénomène très positif a un impact assez faible sur le bilan en termes d'hydrocarbures, peut-il toutefois continuer et pourquoi ?

### Bilan à Paris-Orly

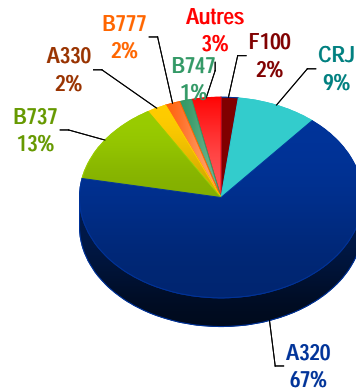
Pour mémoire, à Paris-Orly, les A320 et les B737 représentent près de 69% des émissions de CO<sub>2</sub> à Orly pour 81% des mouvements.

**Ventilation des émissions de CO<sub>2</sub> à Paris-Orly en 2011**



Sources : ADP/OACI

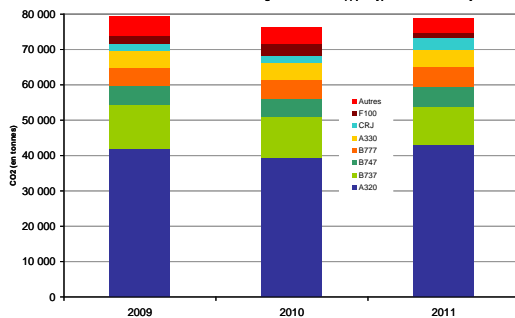
**Ventilation des mouvements à Paris-Orly en 2011**



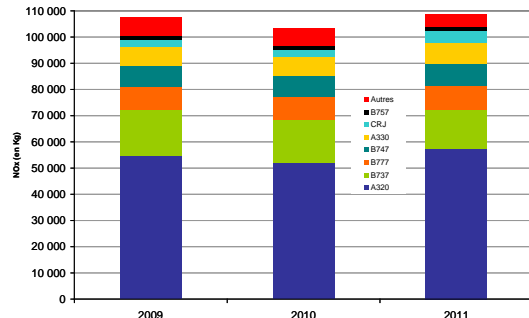
Source : ADP

Les graphiques ci-dessous explicitent l'évolution par famille avion des émissions (pour chacun des polluants) :

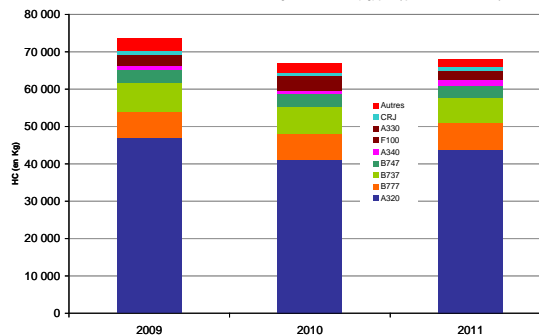
**Bilan des émissions annuelles au roulage au sol de CO<sub>2</sub> (t) par type avion à Paris-Orly**



**Bilan des émissions annuelles au roulage au sol de NOx (kg) par type avion à Paris-Orly**



**Bilan des émissions annuelles au roulage au sol de HC (kg) par type avion à Paris-Orly**



Source : ADP, calculs BIPE

Nous enregistrons une faible baisse (-0,82%), des émissions de CO<sub>2</sub> sur l'aéroport Paris-Orly entre 2009 et 2011. Les A320 qui représentent 55% des émissions de CO<sub>2</sub>, ont connu une légère croissance de leurs émissions (+2,8%), alors que les B737 émettent 13,5% du CO<sub>2</sub> ont enregistré une forte baisse des émissions associées (-14,7%).

Le même phénomène est constaté sur le NOx. Ainsi, nous enregistrons une légère croissance de 0,82% des émissions de NOx sur l'aéroport Paris-Orly entre 2009 et 2011. Les A320 qui représentent 53% des émissions de NOx, ont connu une légère croissance de leurs émissions (+4.5%), alors que les B737 émettent 13.9% du NOx ont enregistré une forte baisse des émissions associées (-14.2%).

Nous enregistrons une forte baisse de -7.6% des émissions d'hydrocarbures sur l'aéroport Paris-Orly entre 2009 et 2011. En effet, les gros porteurs (B777 et A340) enregistrent une croissance des émissions d'Hydrocarbures à Paris-Orly (+6.3% et +24.7%), même si le poids des A340 (2.2% des émissions d'HC) est assez relatif au contraire de celui des B777 (11% des émissions d'HC).

Ce tableau en volume a ensuite été utilisé en calculant des ratios, pour comprendre les évolutions constatées. A Paris-Orly, nous enregistrons un résultat contrasté, car les émissions de CO2 ont baissé, grâce à la baisse du temps de roulage, mais les émissions de NOx augmentent du fait de la dégradation de la performance des A320. Par contre les émissions d'hydrocarbures ont considérablement diminué.

Tableau de synthèse Paris-Orly	2009	2010	2011	2009-2011	Commentaires
<b>Emissions CO2 (t)</b>	<b>79 371</b>	<b>76 156</b>	<b>78 719</b>	<b>-0.82%</b>	<b>Décroissance du CO2 émis à Paris-Orly</b>
Nombre de mouvements	203 121	195 562	205 244	1.05%	alors que le nombre de mouvements a cru
CO2 (kg)/mouvement	391	389	384	-1.85%	d'où une forte amélioration du CO2 émis par mouvement
Temps de roulage moyen (s)	1 010	996	992	-1.70%	car le temps de roulage a significativement baissé
CO2 (kg)/mouvement/minute roulage	23.2	23.5	23.2	-0.15%	quasi stabilité des émissions à la minute de roulage
Nombre de sièges moyen	158	160	160	1.13%	Croissance des sièges moyens offerts
CO2 (kg)/mouvement/siège	2.47	2.43	2.40	-2.95%	d'où une forte baisse des émissions au siège offert
CO2 (kg)/mouvement/minute roulage/siège	0.147	0.146	0.145	-1.27%	qui ressort également à la minute et au siège offert

Tableau de synthèse Paris-Orly	2009	2010	2011	2009-2011	Commentaires
<b>Emissions NOx (kg)</b>	<b>107 817</b>	<b>103 554</b>	<b>108 703</b>	<b>0.82%</b>	<b>Hausse des émissions de NOx entre 2009 et 2011</b>
Nombre de mouvements	203 121	195 562	205 244	1.05%	alors que le nombre de mouvements a cru
NOx (g)/mouvement	531	530	530	-0.22%	d'où une légère amélioration des émissions de NOx par mouvement
Temps de roulage moyen (s)	1 010	996	992	-1.70%	car le temps de roulage a significativement baissé
NOx (g)/mouvement/minute roulage	31.54	31.90	32.02	1.51%	Dégradation des émissions de NOx par minute de roulage
Nombre de sièges moyen	158	160	160	1.13%	sous l'effet de la croissance des sièges offerts et des modules utilisés
NOx (g)/mouvement/siège	3.36	3.30	3.32	-1.34%	d'où une croissance des émissions de NOx par siège
NOx (g)/mouvement/minute roulage/siège	0.200	0.199	0.200	0.37%	ce qui dégrade légèrement la performance à la minute et au siège offert

Tableau de synthèse Paris-Orly	2009	2010	2011	2009-2011	Commentaires
<b>Emissions HC (kg)</b>	<b>73 581</b>	<b>66 912</b>	<b>67 979</b>	<b>-7.61%</b>	<b>Forte décroissance des émissions d'hydrocarbures à Paris-Orly</b>
Nombre de mouvements	203 121	195 562	205 244	1.05%	alors que le nombre de mouvements a cru
HC (kg)/mouvement	362	342	331	-8.57%	en raison d'une forte amélioration des émissions d'HC par mouvement
Temps de roulage moyen (s)	1 010	996	992	-1.70%	et de la baisse du temps de roulage
HC (kg)/mouvement/minute roulage	21.53	20.61	20.02	-6.99%	forte amélioration du ratio d'émission par minute de roulage
Nombre de sièges moyen	158	160	160	1.13%	Croissance des sièges moyens offerts
HC (kg)/mouvement/siège	2.29	2.13	2.07	-9.59%	d'où une forte amélioration du ratio d'émission par siège
HC (kg)/mouvement/minute roulage/siège	0.136	0.129	0.125	-8.03%	et aussi par minute de roulage et siège

## CO<sub>2</sub>

Nous enregistrons une très légère baisse (-0,8%) des émissions de CO<sub>2</sub> sur l'aéroport d'Orly entre 2009 et 2011, alors même que le nombre de mouvements a enregistré une hausse (+1%). Nous constatons une diminution du CO<sub>2</sub> émis par mouvement (-1.8%). Est-ce lié à la diminution du temps de roulage ? En grande partie, oui mais pas seulement dans la mesure où le temps de roulage n'a baissé que de 1,7%. La performance intrinsèque des avions a donc également joué un faible rôle :

- Pour la famille A320 (55% des émissions), nous enregistrons une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> (+2.8%) du fait de l'augmentation des mouvements (+3%) seulement, dans la mesure où nous constatons une quasi-stabilité des émissions de CO<sub>2</sub> par mouvement et du temps de roulage ;
- Pour la famille B737 (13%), nous constatons une forte diminution des émissions de CO<sub>2</sub> (-14.7%), liée en partie à une diminution des mouvements de ce type avion (-12%), car le CO<sub>2</sub> émis par mouvement de ce type avion baisse, grâce à la diminution du temps de roulage (-3%). Enfin, le nombre de sièges moyens ayant cru, l'efficacité au siège en termes de CO<sub>2</sub> émis fait des B737 les avions les plus efficaces de la plate-forme Paris-Orly ;

Les émissions de CO<sub>2</sub> des A330, B777 et B747 (qui représentent 21% des émissions de CO<sub>2</sub>) ont enregistré une croissance, liée à la croissance des mouvements associés. Les émissions de CO<sub>2</sub> par mouvement ont décliné en raison notamment de la diminution du temps de roulage moyen de tous ces types avion. Il serait intéressant de savoir pourquoi le temps de roulage de ces avions a baissé et si ce phénomène peut durer dans le temps.

## NO<sub>x</sub>

Nous constatons que les émissions de NO<sub>x</sub> ont augmenté (+0.8% entre 2009 et 2011), mais un peu moins vite que les mouvements (+1%), du coup les émissions de NO<sub>x</sub> par mouvement sont en très légère baisse, mais cette amélioration par mouvement est liée à une diminution significative du temps de roulage des gros porteurs (hors B757) et des B737.

Pour la famille A320 (53% des NO<sub>x</sub> à Paris-Orly en 2011), nous constatons une augmentation des émissions de NO<sub>x</sub> (+4.5%), liée à l'augmentation des mouvements (3%), à la quasi-stabilité du temps de roulage et à une légère dégradation des émissions de NO<sub>x</sub> par mouvement d'A320, Est-ce lié au vieillissement de la flotte et/ou à des couples avion-moteur spécifiques ? C'est un critère qu'il conviendra de surveiller.

Pour la famille B737 (14% des émissions de NO<sub>x</sub> à Paris-Orly en 2011), nous enregistrons une diminution des émissions de NO<sub>x</sub> (-14%), liée en partie à une diminution des mouvements (-12%) de ce type avion mais aussi à la diminution du temps de roulage (-3%). Enfin, le nombre de sièges moyens ayant cru, la performance des B737 par siège s'est améliorée.

Enfin, les avions long-courriers représentent un poids plus faible mais croissant en termes d'émissions de NO<sub>x</sub>, les émissions de NO<sub>x</sub> des gros-porteurs par mouvement ont décliné grâce à la diminution du temps de roulage moyen.

## HC

Nous constatons que les émissions d'hydrocarbures ont significativement baissé (-7.6% entre 2009 et 2011), alors que le nombre de mouvements a cru (+1%), du coup les émissions de NO<sub>x</sub> par mouvement sont en très forte baisse, cette amélioration par mouvement est peu liée à une diminution du temps de roulage (-1.7%), mais plutôt à un couple avion-moteur plus efficace en termes d'émission d'hydrocarbures.

Pour la famille A320 (64% des émissions d'hydrocarbures à Paris-Orly en 2011), nous constatons une diminution des émissions d'hydrocarbures (-7%), alors même que les mouvements ont augmenté (3%). Ce résultat a été possible malgré la quasi-stabilité du temps de roulage, grâce à une très forte amélioration des émissions d'hydrocarbures par mouvement d'A320 (-9.5%). Est-ce lié à des couples avion-moteur spécifiques ? C'est un critère qu'il conviendra de surveiller.

Pour la famille B737 (9.5% des émissions d'hydrocarbures à Paris-Orly en 2011), nous enregistrons une diminution des émissions d'hydrocarbures (-17%), liée en partie à une diminution des mouvements (-12%) de ce type avion mais aussi à la diminution du temps de roulage (-3%). Enfin, le nombre de sièges moyens ayant cru, la performance des B737 par siège s'est améliorée.

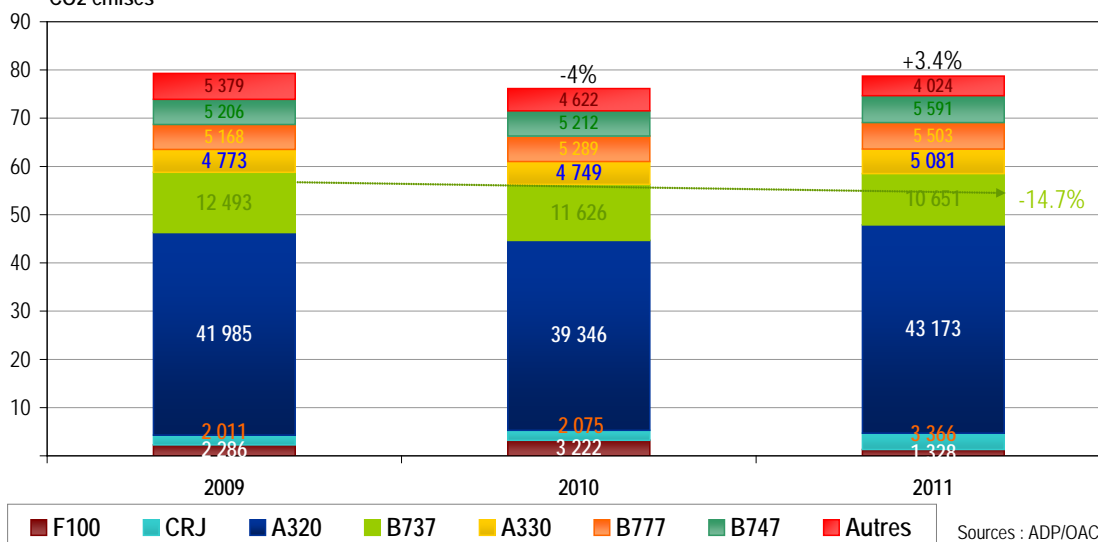
Enfin, les avions long-courriers représentent un poids plus faible (20%) mais croissant en termes d'émissions d'hydrocarbures, les émissions d'hydrocarbures des gros-porteurs par mouvement ont décliné (sauf pour les A330) grâce à la diminution du temps de roulage moyen (sauf pour les A340).

### Les émissions de CO2 à Paris-Orly

En 2011, les avions au roulage ont émis environ 80 000 tonnes de CO2 à Paris-Orly (soit au global 4,5 fois moins qu'à Paris-CDG).

### Émissions de CO2 au roulage à Paris Orly

Milliers de tonnes de CO2 émises



Nous constatons donc une légère baisse du CO2 émis en raison notamment de la baisse du temps de roulage :

- Globalement, nous constatons une très légère baisse (-0,7%) des émissions de CO2 sur l'aéroport d'Orly entre 2009 et 2011, alors même que le nombre de mouvements a enregistré une hausse entre ces deux dates (+1%).
- Du coup, nous constatons une diminution du CO2 émis par mouvement, ce qui signifie une certaine amélioration de l'efficacité environnementale des avions utilisés.



- Est-ce lié à la diminution du temps de roulage ? A priori, oui mais pas seulement dans la mesure où le temps de roulage n'a baissé que de 1,7%. La performance intrinsèque des avions a donc également joué un rôle (qui représente quel poids par rapport au temps de roulage ?).

Les résultats par famille avion sont très contrastés et ils posent de nombreuses questions :

Les principaux avions contributeurs en ce qui concerne les émissions de CO<sub>2</sub> sur l'aéroport Paris Orly sont les moyens-courriers (2/3), avec les A320 et le B737, On constate pour ces deux types d'avions des résultats opposés :

- A320, augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> du fait de l'augmentation des mouvements seulement, dans la mesure où nous constatons une quasi-stabilité des émissions de CO<sub>2</sub> par mouvement et du temps de roulage ;
- B737, diminution des émissions de CO<sub>2</sub>, liée en partie à une diminution des mouvements de ce type avion, car le CO<sub>2</sub> émis par mouvement de ce type avion baisse, grâce à la diminution du temps de roulage. Enfin, le nombre de sièges moyens ayant cru, l'efficacité au siège en termes de CO<sub>2</sub> émis fait des B737 les avions les plus efficaces de la plate-forme Paris-Orly ;
- Du coup, comment expliquer cette baisse du temps de roulage pour les B737, si ce n'est par des affectations de compagnies à des postes avions et/ou à des pratiques compagnies ? Est-ce que les progrès constatés peuvent continuer et si oui comment ?

Au-delà des avions moyens-courriers, les avions long-courriers représentent un poids plus faible mais croissant en termes d'émissions de CO<sub>2</sub>, cette fois peu de différences apparaissent entre les types avion :

- Les émissions de CO<sub>2</sub> des A330, B777 et B747 ont enregistré une croissance, liée à la croissance des mouvements associés. Les émissions de CO<sub>2</sub> par mouvement ont décliné en raison notamment de la diminution du temps de roulage moyen de tous ces types avion ;
- Ce phénomène d'amélioration du temps de roulage de ces types avion est-il durable ?

Enfin, les avions régionaux que sont les Fokker100 et les CRJ, représentent un poids assez faible dans les émissions de CO<sub>2</sub> sur l'aéroport Paris Orly, toutefois les trajectoires de contribution de ces deux types avion au sein des avions régionaux sont opposées :

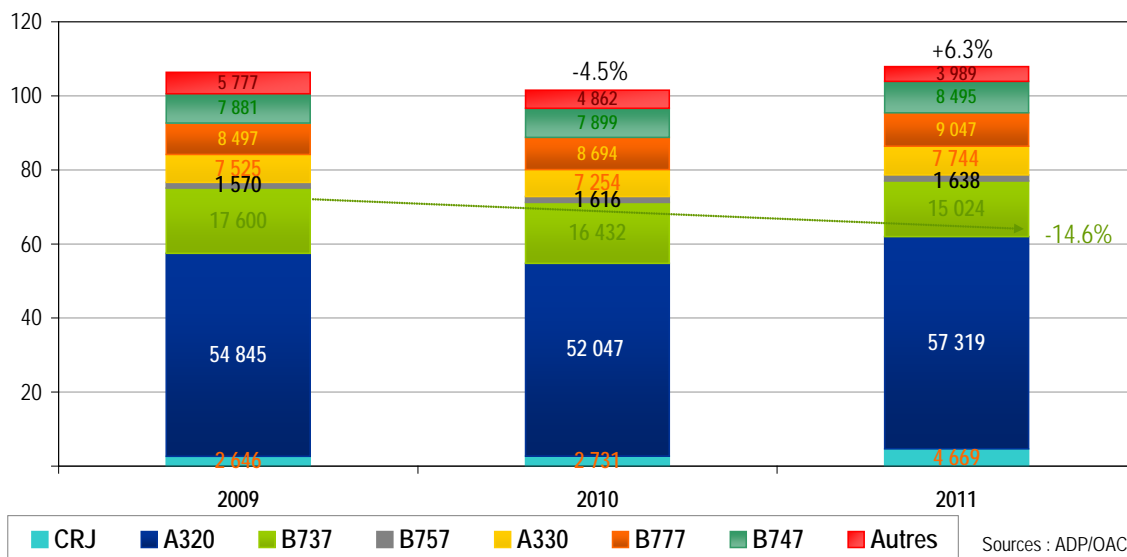
- Les CRJ enregistrent une forte croissance de leurs émissions de CO<sub>2</sub>, associée en partie à la croissance des mouvements, car le CO<sub>2</sub> émis par mouvement baisse, mais aussi grâce à l'amélioration des temps de roulage de ces types avion entre 2009 et 2011 ;
- Les Fokker100 de leur côté, enregistrent une baisse des émissions de CO<sub>2</sub>, liée à une baisse des mouvements, mais aussi à une dégradation du temps de roulage ;
- Il serait du coup très intéressant de comprendre pourquoi dans un cas le temps de roulage a baissé, alors que dans l'autre il a cru, en même temps que les mouvements.

### Les émissions de NOx à Paris-Orly

En 2011, 108 tonnes de NOx ont été émises au roulage à Orly (soit au global 5 fois moins que CDG).

## Émissions de NOx au roulage à Paris Orly

Tonnes de NOx émises



Grâce à la diminution du temps de roulage, les émissions de NOx ont faiblement augmenté à Orly entre 2009 et 2011

- Les émissions de NOx ont augmenté (+1,5% entre 2009 et 2011), mais plus vite que les mouvements (+1%), du coup les émissions de NOx par mouvement sont en très légère hausse, mais cette dégradation par mouvement est faible grâce à une diminution significative du temps de roulage (-1,7%).
- En effet, le volume de NOx émis par mouvement a très faiblement cru sur la période 2009 – 2011.
- On en conclut que grâce à la diminution du temps de roulage, les émissions à Orly ont faiblement augmenté.

Nous constatons une forte dégradation des émissions de NOx de la part des A320 qui contraste avec les résultats des B737,

Les principaux avions contributeurs en ce qui concerne les émissions de NOx sur l'aéroport Paris Orly sont les moyens-courriers, avec les A320 et les B737, Toutefois, on constate pour ces deux types d'avions des résultats opposés :

- A320, augmentation des émissions de NOx, liée à l'augmentation des mouvements, à la quasi-stabilité du temps de roulage et à une légère dégradation des émissions de NOx par mouvement d'A320, Est-ce lié au vieillissement de la flotte ?
- B737, diminution des émissions de NOx, liée en partie à une diminution des mouvements de ce type d'avion mais aussi à la diminution du temps de roulage. Enfin, le nombre de sièges moyens ayant cru, la performance des B737 par siège s'est améliorée. Du coup, comment expliquer cette baisse du temps de roulage pour les B737, si ce n'est par des affectations de compagnies à des postes avions et/ou à des pratiques compagnies ?

Au-delà des avions moyens-courriers, les avions long-courriers représentent un poids plus faible mais croissant en termes d'émissions de NOx, cette fois peu de différences apparaissent entre les types avion :

- Les émissions de NOx des A330, B777 et B747 ont enregistré une croissance liée à la croissance des mouvements. Les émissions de NOx par mouvement ont décliné grâce à la diminution du temps de roulage moyen ;
- Ce phénomène d'amélioration du temps de roulage de ces types avion est-il durable, est-il lié à des décisions particulières ?

Enfin, les avions régionaux CRJ, représentent un poids assez faible dans les émissions de NOx sur l'aéroport Paris Orly, mais ce poids augmente du fait de la croissance des mouvements :

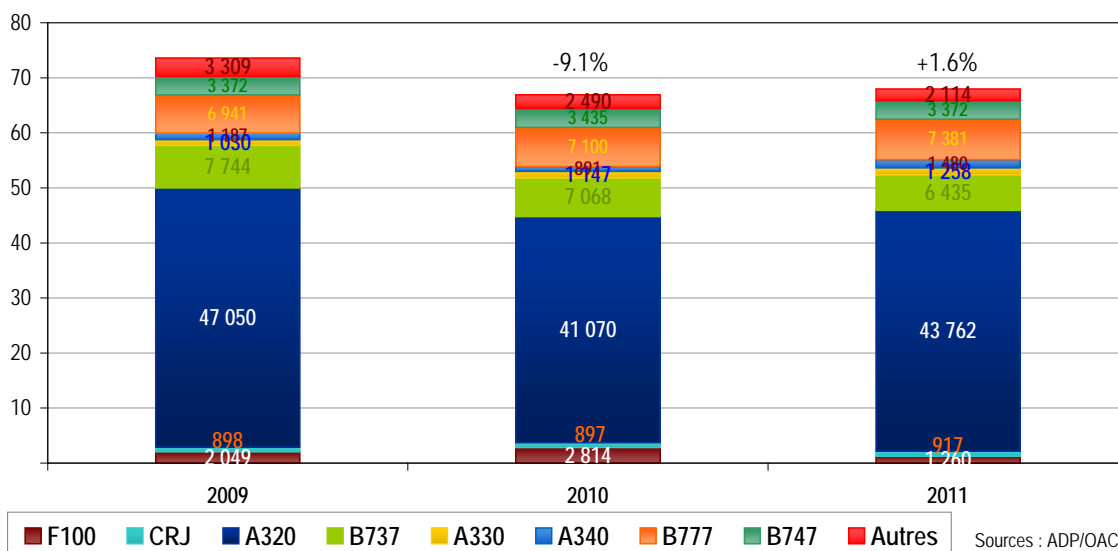
- Les CRJ enregistrent une forte croissance de leurs émissions de NOx, du fait de la croissance des mouvements. Mais la forte hausse des émissions par mouvement (+10%), n'est pas seulement liée à la croissance du temps de roulage (+3%), elle est liée surtout à la croissance des sièges offerts et donc du type de CRJ utilisé.

### Les émissions d'hydrocarbures à Paris-Orly

En 2011, 67.9 tonnes d'hydrocarbures ont été émises au roulage à Paris-Orly (soit au global plus de 5 fois moins qu'à Paris-CDG).

### Émissions de HC au roulage à Paris Orly

HC émis (tonnes)



Nous constatons que les émissions d'hydrocarbures ont significativement baissé (-7.6% entre 2009 et 2011), alors que le nombre de mouvements a cru (+1%), du coup les émissions d'hydrocarbures par mouvement sont en très forte baisse, cette amélioration par mouvement est peu liée à une diminution du temps de roulage (-1.7%), mais plutôt à un couple avion-moteur plus efficace en termes d'émission d'hydrocarbures.

Pour la famille A320 (64% des émissions d'hydrocarbures à Paris-Orly en 2011), nous constatons une diminution des émissions d'hydrocarbures (-7%), alors même que les mouvements ont augmenté (3%). Ce résultat a été possible malgré la quasi-stabilité du temps de

roulage, grâce à une très forte amélioration des émissions d'hydrocarbures par mouvement d'A320 (-9.5%). Est-ce lié à des couples avion-moteur spécifiques ? C'est un critère qu'il conviendra de surveiller.

Pour la famille B737 (9.5% des émissions d'hydrocarbures à Paris-Orly en 2011), nous enregistrons une diminution des émissions d'hydrocarbures (-17%), liée en partie à une diminution des mouvements (-12%) de ce type avion mais aussi à la diminution du temps de roulage (-3%). Enfin, le nombre de sièges moyens ayant cru, la performance des B737 par siège s'est améliorée.

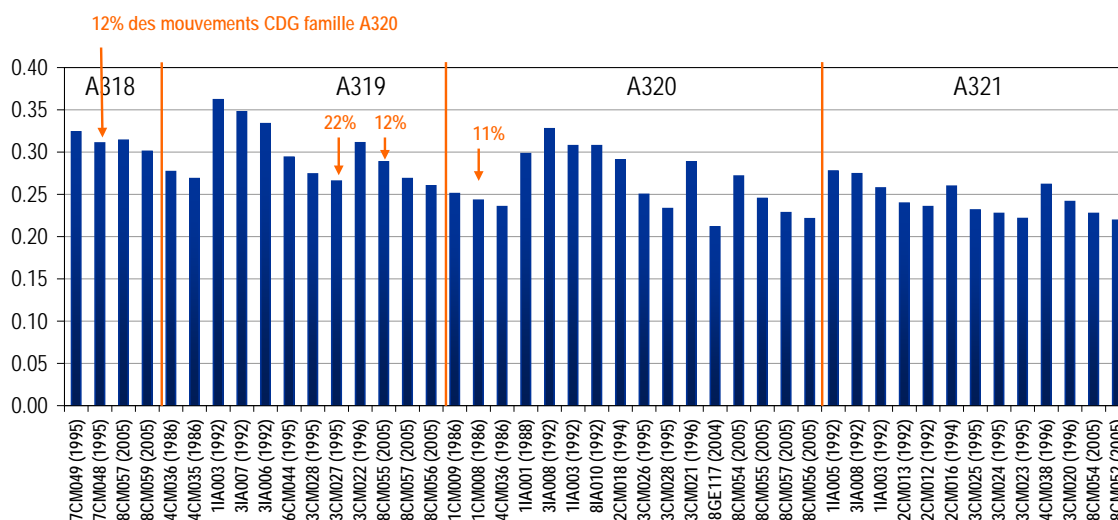
Enfin, les avions long-courriers représentent un poids plus faible (20%) mais croissant en termes d'émissions d'hydrocarbures, les émissions d'hydrocarbures des gros-porteurs par mouvement ont décliné (sauf pour les A330) grâce à la diminution du temps de roulage moyen (sauf pour les A340).

### La nécessaire prise en compte des couples famille-moteur

A l'image des résultats obtenus en ce qui concerne les nuisances sonores, nous avons souhaité compléter cette analyse en distinguant les différentes motorisations d'avions au sein d'une même famille d'avions, de manière à mesurer les écarts de performance en termes de pollution atmosphérique de ces différentes motorisations.

Ainsi, en utilisant le bilan sur l'aéroport de Paris-Charles de Gaulle, nous montrons qu'il ne suffit pas de s'intéresser aux types avions, certaines motorisations sont plus efficaces que d'autres, en CO<sub>2</sub>, comme le montre le graphique ci-dessous.

### CO<sub>2</sub> / siège par minute de roulage



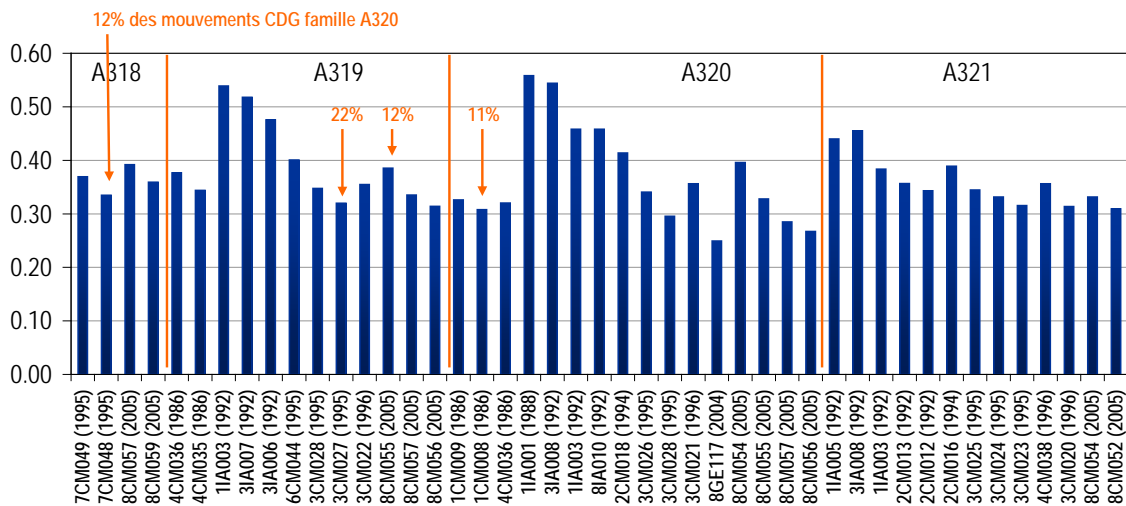
Source : OACI

Ce graphique permet également de montrer que la date de certification ne suffit pas, en dehors des A318, à faire décroître les émissions de CO<sub>2</sub> par siège et minute de roulage. Nous constatons pour tous les avions de la famille A320, que certaines motorisations et années de certification (1992 en particulier) sont très peu performantes. La configuration retenue par la compagnie et les terminaux utilisés sont également des indicateurs tout aussi importants pour

bien comprendre cette performance du couple avion-moteur, mais pour le moment cette information n'est pas communiquée par ADP.

Cette analyse a été menée en NOx et nous avons constaté que pour ce polluant les écarts se creusent au sein d'une même famille, comme le montre le graphique ci-dessous.

### NOx / siège par minute de roulage

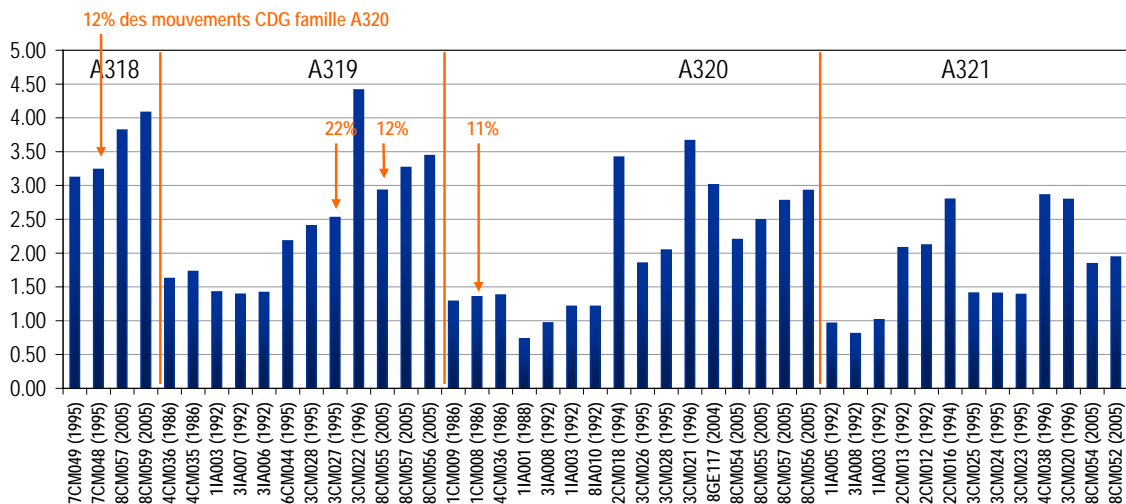


Source : OACI

En ce qui concerne ce polluant, le NOx, les années 1992 sont également assez peu performantes, mais c'est également le cas de l'année 1998 au sein de la famille A320.

Nous constatons, comme illustré ci-dessous, un phénomène analogue pour les émissions d'oxyde de carbone mais aussi d'hydrocarbures, à Paris-Charles de Gaulle, bien que nous enregistrons quelques différences que nous allons préciser.

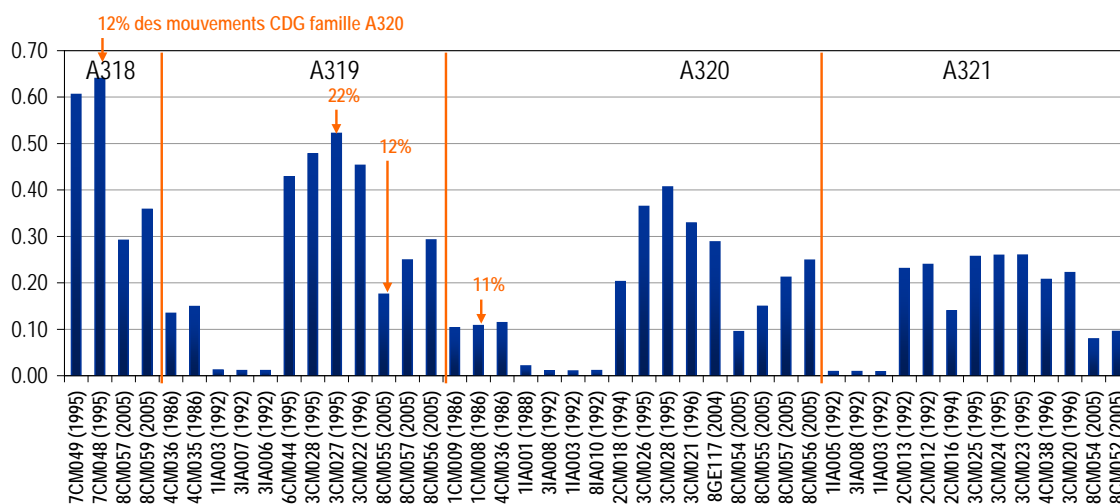
### CO / siège par minute de roulage



Source : OACI

Ce graphique qui montre la diversité des performances des avions de la famille A320 utilisés sur l'aéroport de Paris Charles de Gaulle, en ce qui concerne les émissions de CO/siège et par minute de roulage, montre l'efficacité des avions datant de 1992 quant à cet indicateur et par ailleurs les pollutions sont croissantes avec la date, ce qui tranche fortement des résultats mis en évidence avec le CO<sub>2</sub> et le NO<sub>x</sub>. La question de savoir pourquoi se pose donc de manière forte. Enfin, la même analyse a été menée pour les hydrocarbures et force est de constater que si la diversité est très forte, voire encore plus forte qu'avec les autres polluants, les niveaux d'hydrocarbures enregistrés pour les avions datant de 1992 sont tout à fait faibles.

### HC / siège par minute de roulage



Source : OACI

Cette analyse complémentaire, basée sur la flotte utilisée en 2011 sur l'aéroport de Paris-Charles de Gaulle montre combien il est important, pour évaluer la pollution atmosphérique et la manière dont il est possible d'agir sur cette dernière, de définir les polluants à retenir et de travailler à une classification avion-moteur.

## Partie 4 : En quoi ce travail peut vous apporter des leviers d'observation/actions ?

En conclusion, voici les 3 principaux apports de la réalisation de cette 4<sup>ème</sup> étape de notre mission :

- Disposer d'informations récentes pour l'année 2011, dès le premier trimestre 2012, alors que la DGAC n'a pour l'instant sorti que le bilan 2009 ;
- Montrer que l'évolution des avions utilisés au sein d'un même type avion a un impact très fort sur la pollution atmosphérique (même à deux ans d'intervalle). Ce point rejoint la nécessaire prise en compte des couples famille-moteur, car la variation des performances d'un même avion équipé de moteurs différents est très importante, en CO, en NOx, en CO et aussi en HC ;
- Identifier les raisons d'une amélioration ou d'une dégradation de la pollution atmosphérique en fonction de critères techniques et/ou d'évolution de la flotte utilisée (par famille d'avions et par couple avion-moteur).

Au-delà de ces apports, il nous semble que cette analyse a mis en évidence l'importance pour l'ACNUSA, au regard de ses nouvelles responsabilités, de disposer :

- d'un cadre homogène permettant de comparer tous les grands aéroports français dans une approche visant la compréhension de la performance et la création d'alertes, indépendante de la DGAC. Ce travail pourrait donc être élargi aux autres aéroports français pour constituer un outil d'observation et de compréhension de la pollution atmosphérique ;
- des données basées sur le temps de roulage réel des compagnies et non pas sur un temps de roulage théorique. Or nous savons désormais que la sensibilité des résultats à ce temps de roulage, d'une part et la prise en compte du temps de roulage réel est très important ;
- dès maintenant de la capacité d'anticiper grâce à l'impact des prévisions de trafic et de mouvements de la DGAC faites à l'horizon 2020 pour identifier le bilan environnemental envisageable ex ante et constituer un tableau de bord permettant d'expliquer la performance et les écarts. Il nous semble que ce dernier point est très important à mettre en œuvre si l'on souhaite anticiper dès maintenant les conséquences d'une croissance attendue du transport aérien en France.

## Annexe : note technique transmise à ADP

Voici ci-dessous la note technique envoyée par le BIPE à Aéroport de Paris, afin d'obtenir les données nécessaires à l'évaluation des émissions des aéronefs sur les plateformes aéroportuaires d'Orly et de Roissy-Charles De Gaulle.

### Note technique

---

**De :** BIPE

**Le :** 16 janvier 2012

**À :** Aéroport De Paris

**Objet** Cahier des charges des analyses envisagées par le BIPE dans le cadre de l'étude des dispositifs d'optimisation du roulage des aéronefs sur les plateformes aéroportuaires menée pour l'ACNUSA

*Conformément à notre échange téléphonique du 04 Janvier dernier, nous vous proposons un cahier des charges présentant les objectifs de l'étude, les livrables envisagés et les données dont nous avons besoin pour mener à bien ce travail.*

### Objectifs de l'étude menée par le BIPE

Le BIPE mène depuis plusieurs mois une étude sur les dispositifs mis en place sur les plateformes aéroportuaires pour réduire le temps de roulage et/ou les émissions des aéronefs.

#### Rappel des objectifs de l'étude :

- Etapes préliminaires visant à améliorer la connaissance et l'expertise de l'ACNUSA sur :
  - o Les inventaires d'émissions existants (acteurs, méthodologie, polluants, périmètre...)
  - o Le poids du roulage au sol des aéronefs (en termes de volume d'émissions) relativement aux autres sources de pollution atmosphérique directement ou indirectement liées à l'activité aéroportuaire
- Les objectifs principaux :
  - o Connaître en détails les dispositifs mis en œuvre sur les aéroports en France pour organiser le roulage au sol des aéronefs,
  - o Expliciter les optimisations éventuellement apportées pour réduire la congestion au sol et diminuer les temps de roulage,
  - o Evaluer l'efficacité des dispositifs existants,
  - o Proposer des voies d'optimisation du roulage au sol s'il y a lieu et étudier la faisabilité de ces optimisations sur le ou les aéroports concernés

Cette étude entre maintenant dans sa dernière phase : l'analyse des évolutions dans le temps des émissions des aéronefs sur une plateforme aéroportuaire durant la phase de roulage au regard des évolutions des types d'avions en activité et des temps de roulage associés.



Cette analyse sera focalisée sur la partie roulage (taxi-in, taxi-out) du cycle LTO uniquement.

A notre connaissance, aucune étude sur la contribution dans les émissions sur une plateforme des types de motorisation et leurs évolutions dans le temps n'a encore été réalisée. Nous vous proposons d'utiliser la richesse des données/relevés que vous possédez pour réaliser des analyses qui feront avancer les connaissances respectives de ADP et de l'ACNUSA sur le sujet des émissions au roulage des aéronefs.

Cette analyse devrait nous permettre de répondre aux questions suivantes :

- Comment s'expliquent les évolutions des émissions de CO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>/CO/HC sur la plateforme au regard des typologies d'avions présents et temps de roulage associés ?
- Quelle est la contribution respective dans l'évolution des émissions de polluants sur la plateforme :
  - o (1) de la réduction du temps de roulage ?
  - o (2) de l'amélioration de la motorisation des aéronefs ?

Questions connexes :

- Pourquoi les émissions de NO<sub>x</sub> ont-elles moins diminué que les émissions de CO<sub>2</sub> sur un aéroport comme CDG sur les 5 dernières années ?
- Quel est l'impact sur les émissions au roulage de l'augmentation de la proportion de tel ou tel type de motorisation/avion sur une plateforme ?
- Quelle la tendance actuelle en termes de réduction de temps de roulage, et, à hypothèse de trafic/flotte similaire, dans quelle proportion serait impactée à la baisse les émissions cumulées sur la phase de roulage ?

### Démarche envisagée

- Classifier les aéronefs/motorisations par efficacité énergétique suivant les différents ratios CO<sub>2</sub>/pax, CO<sub>2</sub>/mouvement, NO<sub>x</sub>/mouvement etc.
- Confronter les courbes d'évolution des émissions totales de CO<sub>2</sub>, de NO<sub>x</sub>, de CO et de HC aux évolutions de types d'aéronefs en activité sur la plateforme.
  - o Analyse de l'évolution des aéronefs présents sur une plateforme
  - o Analyse des performances énergétiques des aéronefs présents
  - o Analyse de l'évolution du temps moyen de roulage
  - o Explication des évolutions des émissions à la lumière des analyses précédentes
- Déterminer la contribution à la croissance ou à la décroissance des émissions des différents types d'aéronefs.

Les livrables potentiels dépendent de la granularité et du détail des informations que nous aurons à disposition. Pour cette raison, nous vous proposons 3 versions différentes de données que nous pourrions exploiter :

- Version Maximale : granularité à la semaine. Cette liste de données est la plus riche. Elle nous permettrait d'aller plus loin dans les analyses en visualisant par semaine les évolutions de la flotte présente, et les impacts sur les émissions au roulage
- Version Moyenne : granularité au mois
- Version Minimal : granularité à l'année

Autres sources envisagées :

- Base de données d'émissions certifiées OACI

-Données Capstat - offre aérienne (éventuellement)

### Délivrables potentiels

- Classification des types de motorisation et/ou type d'appareil par efficacité énergétique sur la phase de roulage.
- Explication des sous-jacents des évolutions du volume total d'émissions de CO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>/CO/HC dans le temps.
- Possibilité d'effectuer des projections des évolutions d'émission au roulage des aéronefs sur une plateforme.

### Données envisagées

Nous détaillons dans le document annexe (*Analyse\_BIPE\_Liste\_data.xls*) la liste des données nécessaires à la réalisation de cette étude.

Profondeur des données : idéalement 2000-2010,

#### Synthèse des données envisagées :

Profondeur des données 2000:2010

Version Maximale	Version Moyenne	Version Minimale
Date/heure Block (entrée ou sortie)	Type Moteur	Type Moteur
Date/heure taxi-in ou taxi-out	Type Avion	Type Avion
Sens (A/D)	Nombre de moteurs	Nombre de moteurs
AEROPORT	Emport moyen	Emport moyen
ESCALE (IATA FROM/TO)	Nombre de mouvements	Nombre de mouvements
Nom de l'escale	Numéro du mois (1 à 12)	Créneau horaire (p.ex 10h-11h)
Exploitant (code IATA)	Numéro du Jour (1,2,3,4,5,6 ou 7)	Temps de roulage moyen
Type avion	Créneau horaire (p.ex 10h-11h)	Fuel Flow
Modèle avion	Temps de roulage moyen	Emissions CO <sub>2</sub>
Immatriculation	Fuel Flow	Emissions NO <sub>x</sub>
Type mvt	Emissions CO <sub>2</sub>	Emissions CO
Nb_mvt	Emissions NO <sub>x</sub>	Emissions PM
Pax	Emissions CO	
Fret_poste (kg)	Emissions PM	
Type de propulsion (code)		
Type de propulsion (libellé)		
Nombre de moteurs		
Type moteur		
APU model		
Poids de l'aéronef		
Nombre de sièges dans l'aéronef		
Temps de roulage		
Terminal associé		
Piste		
Temps à vitesse nulle sur la phase de roulage		
Fuel Flow		
Emissions CO <sub>2</sub>		
Emissions NO <sub>x</sub>		
Emissions CO		
Emissions PM		