

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université SAAD DAHLEB-BLIDA 1

Institut d'Aéronautique Et Des Etudes Spatiales



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention de Diplôme de Master 2

Option : Opération Aériennes



**AIR ALGERIE**

**Thème**

**Suivi des émissions CO2 par les  
Aéronefs  
- cas d'Air Algérie -**

**Organisme d'accueil**

**Air Algérie الخطوط الجوية الجزائرية**

**\*Promoteur :**

Mr REZOUG Tahar

**\* Réalisé par :**

BENMANSOUR Nassima

**\*Encadreurs:**

- Mr ALILI Hichem
- Mr MERGHID Rafik
- M<sup>eme</sup> DERROUGH Amel

**Promotion :2021**

# Remerciement

*Ce mémoire doit beaucoup aux nombreuses personnes qui m'ont encouragé, soutenu et conforté au long de ce travail. Qu'elles trouvent dans cette réalisation l'expression de mes plus sincères remerciements.*

*Je remercie tout d'abord Allah tout puissant qui m'a donné la force, le courage et la patience afin de pouvoir accomplir ce modeste travail.*

*Je voudrais ensuite adresser toute ma reconnaissance à madame DERROUGH Amel, et Mer ALILI Hichem et Mer MERGHID Rafik au sein de l'entreprise pour son encadrement, son soutien, ses encouragements, ses conseils avisés et sa maîtrise du sujet qui m'ont permis de donner le meilleur de moi-même.*

*Mes sincères remerciements vont également à mon promoteur et mon enseignant Mer. REZOUG Tahar pour sa disponibilité, ses implications, ses remarques et son orientation qui m'ont permis d'affiner les étapes de ce travail.*

*Je souhaite vivement remercier les membres de jury de m'avoir honoré en acceptant d'examiner mon modeste travail.*

*Pour conclure, je n'oserais oublier de remercier tout le corps professoral d'institut Aéronautique et des études Spatiales pour le travail énorme qu'il effectue pour nous créer les conditions les plus favorables pour le déroulement de nos études.*

# *Dédicaces*

## *Je dédie ce travail*

*A ma très chère maman*

*J'espère que je te rends fière, même si quoique je fasse je ne saurais point te remercier comme il se doit. Pour ton affection, ta bienveillance, ta présence à mes côtés et tes douaaas qui me guident pour affronter les différents obstacles.*

*A mon cher père*

*Tu as toujours voulu me voir où je suis aujourd'hui, que ce travail traduit mes gratitudees et mon affection.*

*A mes très chères sœurs, ainsi que mes braves frères .*

*A toutes les personnes qui ont contribué de près et de loin dans ce travail et qui ont cru en moi, je vous dis merci.*

## ملخص:

أصبح تتبع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن الطيران التزامًا على جميع شركات الطيران العالمية من أجل التصدي للأثار السلبية لتغير المناخ سواء على البيئة أو على صحة الانسان الهدف من هذا العمل هو تتبع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون خلال رحلات الجزائر-أورلي في النصف الأول من عام 2019 التابعة للخطوط الجوية الجزائرية. ولهذه الغاية، سنطبق نموذج المراقبة الذي اعتمدته الشركة المعنية والذي يهدف أولاً إلى الجمع والتحقق من كميات الوقود المجمعة عن وثائق السجل التقني للطائرة ومذكرة تسليم الوقود لكل رحلة، ثم حساب استهلاك الوقود وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون وفقاً للطريقة 'ب' الموصوفة في أنظمة الاتحاد الأوروبي وكورسيا. وأخيراً، سنقوم بتحليل نتائج التغييرات في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون واقتراح الحلول المناسبة للتخفيف منها.

**الكلمات المفتاحية:** انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، تلوث الغلاف الجوي، تغير المناخ، الخطوط الجوية الجزائرية الاتحاد الأوروبي، كورسيا، سودوفول

## **Abstract**

The monitoring of CO2 emissions from civil aviation is becoming an obligation for all the world's airlines to counter the negative consequences of climate change, both on the environment and on human health. The objective of this work is to monitor the CO2 emissions of aircraft on Algiers-Orly flights during the first half of 2019 in the case of Air Algérie. For this purpose, we will apply the monitoring model adopted by the study company, which aims firstly to collect and verify the quantities of fuel resulting from ATL and BLF documents for each flight, then calculate fuel consumption and CO2 emissions according to the method B described in the EU-ETS and CORSIA systems. Finally, we will analyse the results of the CO2 emissions evolution and propose adequate solutions to mitigate the CO2 emissions.

**Key words :** CO2 emissions, air pollution, climate change, Air Algérie, eu-Ets, Corsia, SUDOVOL.

## **Résumé**

Le suivi des émissions de CO2 issues de l'aviation devient une obligation pour toutes les compagnies aériennes mondiales pour s'opposer aux conséquences négatives du changement climatique qu'elles soient sur l'environnement ou sur la santé humaine.

L'objectif de ce travail est de suivre les émissions de CO2 des aéronefs des vols Alger-Orly durant le premier semestre 2019 dans le cas d'Air Algérie. A cet effet, nous allons appliquer le modèle du suivi adopté par la compagnie d'étude, et qui vise dans un premier temps à collecter et vérifier les quantités de carburant découlant des documents ATL et BLF pour chaque vol, ensuite calculer la consommation du carburant et les émissions de CO2 selon la méthode B décrite dans les systèmes EU-ETS et CORSIA. Enfin, nous allons analyser les résultats de l'évolution des émissions de CO2 et proposer des solutions adéquates pour atténuer ces derniers.

**Mots clés :** émissions de CO2, pollution atmosphérique, changement climatique, Air Algérie, eu-Ets, Corsia, SUD

## **Table des matières**

INTRODUCTION GENERALE .....	1
CHAPITRE 1: La Contribution Du Transport Aérien Au Changement Climatique	
1. Introduction : .....	3
2. Descriptions du phénomène de l'effet de serre : .....	3
4. Etats des lieux : .....	5
5. Croissance du secteur et évolution des émissions : les enjeux de long terme .....	10
CHAPITRE 2: Dioxyde de carbone	
1. Introduction .....	15
2. Dioxyde de carbone polluant gazeux .....	15
3. Caractéristiques physico-chimiques de dioxyde de carbone .....	15
6. Cadre réglementaire des émissions de CO2 de l'aviation civile.....	18
6.2.1.2. Méthode de suivi des émissions de CO2.....	20
CHAPITRE 3: Suivi des émissions de co2 :cas d'air Algérie	
1. Introduction .....	24
2. Présentation de l'entreprise.....	24
3. Présentation de la cellule environnement .....	24
4. Les émissions de CO2 d'Air Algérie .....	25
5. Suivi des émissions CO2 par la cellule environnement.....	25
5.1. Présentation du système SUDOVOL.....	25
5.2. Contrôle et vérification des vols .....	26
5.3. Saisie des données de vol dans le système SUDOVOL.....	26
5.4. Contrôle des données de vol dans le système SUDOVOL .....	28
5.4.1. Contrôle de l'ATL :.....	29
5.4.2. Contrôle du BLF :.....	30
5.5. Densité du carburant utilisé.....	30
5.6. Calcul de la consommation du carburant.....	31
5.7. Calcul des émissions de CO2.....	31
6. Suivi des émissions CO2 d'Air Algérie : série de vols Alger-Orly .....	31
6.1. Première étape : Récupération des documents nécessaires du vol.....	32
6.2. Deuxième étape : la saisie des informations du vol .....	34
6.3. Troisième étape : Contrôle des informations du vol .....	35
6.4. Quatrième étape : Calcul de la consommation du carburant.....	37
6.5. Cinquième étape : Calcul des émissions de CO2.....	38

## CHAPITRE 4: Résultats et discussions

1. Introduction .....	40
2. Résultats de calcul des émissions de CO <sub>2</sub> .....	40
3. Etude statique des résultats .....	43
4. Etude de l'influence du type de moteur d'avion .....	44
4.1. Etude de l'influence de la variation de la consommation du carburant .....	46
4.2. Etude de l'influence des paramètres agissant sur la combustion .....	48
5. Etude de l'influence du type du carburant .....	49
5.1. Etude de l'influence la densité du carburant .....	50
6. Démarches prises par Air Algérie pour l'atténuation des émissions de CO <sub>2</sub> .....	51
7. Perspectives .....	53
CONCLUSION GENERALE .....	54

## **Liste des tableaux**

### **Chapitre 1 : La contribution du transport aérien au changement climatique.**

- Tableau 1.1 : Émissions de gaz à effet de serre : les chiffres clés.
- Tableau 1.2 : Émissions mondiales de CO2 du transport aérien mondial.
- Tableau 1.3 : Émissions de gaz à effet de serre du trafic aérien.
- Tableau 1.4 : Projection des émissions de CO2 de l'aviation commerciale 25
- Tableau 1.5 : Projection en 2010 des émissions de CO2 de l'aviation commerciale de l'Union européenne.
- Tableau 1.6 : Projection en 2050 des émissions de CO2 de l'aviation (FESG=

### **Chapitre 2 : Dioxyde de carbone.**

- Tableau 2.1 : Caractéristiques physico-chimiques du CO2.
- Tableau 2.2 : Evolution des émissions de CO2 par l'aviation algérienne au niveau national et international entre 2011 et 2018.

### **Chapitre 3 : Suivi des émissions de CO2 : cas d'Air Algérie.**

- Tableau 3.1 : Présentation d'Air Algérie.
- Tableau 3.2 : Caractéristique de la flotte d'Air Algérie.
- Tableau 3.3 : Evolution des émissions de CO2 d'Air Algérie par les aéronefs entre 2011-2018.
- Tableau 3.4 : Données du vol Alger-Orly du 01/01/2019.

### **Chapitre 4 : Résultats et discussions.**

- Tableau 4.1 : Résultats de calcul des émissions de CO2 par Boeing B738.
- Tableau 4.2 : Résultats de calcul des émissions de CO2 par Airbus A332.
- Tableau 4.3 : Tableau statistique descriptif des vol étudiés.
- Tableau 4.4 : Caractéristiques comparatives entre les moteurs CFM56 et CF6.
- Tableau 4.4 : Tableau comparatif des caractéristiques des différents types de carburants.
- Tableau 4.5 : Démarches prises par Air Algérie pour l'atténuation des émissions de CO2.

## **Liste des figures**

### **Chapitre 1 : La contribution du transport aérien au changement climatique.**

- Figure 1.1 : Description du phénomène d'effet de serre.
- Figure 1.2 : Forçage radiatif des aéronefs.
- Figure 1.3 : Émissions de gaz à effet de serre par zone géographique.
- Figure 1.4 Répartitions géographiques des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation civile en 1997.
- Figure 1.5 : Émissions des vols commerciaux.
- Figure 1.6 : Estimation des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation en 2010.

### **Chapitre 2 : Dioxyde de carbone.**

- Figure 2.1 : Émissions annuelles totales de CO<sub>2</sub> par région du monde de 1751 à 2017.
- Figure 2.2 : Répartition des émissions de CO<sub>2</sub> en Europe par secteur d'activité.
- Figure 2.3 : Taux d'émission de CO<sub>2</sub> par trajet et heure de transport.
- Figure 2.4 : Phases de mise en œuvre du régime CORSIA.

### **Chapitre 3 : Suivi des émissions de CO<sub>2</sub> : cas d'Air Algérie.**

- Figure 3.1 : Organigramme d'Air Algérie.
- Figure 3.2 : Vérification des vols dans le module admiration.
- Figure 3.3 : Saisie de données de vol dans le système SUDOVOL.
- Figure 3.4 : Contrôle de l'ATL.
- Figure 3.5 : Contrôle de BLF.
- Figure 3.6 : Présentation du document ATL du vol 01/01/2019.
- Figure 3.7 : Présentation du document BLF du vol 01/01/2019.
- Figure 3.8 : Saisi des données de vol Alger-Orly.
- Figure 3.9 : Contrôle de l'ATL du vol Alger-Orly depuis le SUDOVOL.
- Figure 3.10 : Contrôle des données de BLF du vol Alger-Orly.

#### **Chapitre 4 : Résultats et discussions.**

-Figure 4.1 : Emissions de CO2 en fonction du temps par les Boeing B737-800.

-Figure 4.2 : Emissions de CO2 en fonction du temps par les Airbus A330-202.

-Figure 4.3 : Evolution des émissions de CO2 en fonction de la consommation ducarburant pour les Boeing B737-800.

-Figure 4.4 : Evolution des émissions de CO2 en fonction de la consommation ducarburant pour les A330-202.

## Liste des abréviations

---

<b>Abréviation</b>	<b>Signification</b>
GES	Gaz à Effet de Serre.
CO2	Dioxyde de carbone.
SO2	Dioxyde de soufre.
CO	Monoxyde de carbone.
NOx	Oxydes d'azote.
PS	Particule en Suspension.
COV	Composés Organiques Volatils.
CH4	Méthane.
HC	Hydrocarbures.
O3	Ozone.
UV	Ultraviolet.
N2	Diazote.
O2	Oxygène.
OMS	Organisation Mondiale de la Santé.
C°	Celsius.
Kg	Kilogramme.
M3	mètre cube.
Ppm	Partie Par Million.
Kpa	kilo Pascale.
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement.
CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique.
ATAG	Air Transport Action Group.
t	tonne.
EU-ETS	European Union – Emissions Trading System.
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation.
IATA	International Air Transport Association.
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale.

EU	European Union.
SCEQE	Système Communautaire d'Echange de Quotas d'Emission.
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile.
SET	Small Emitters Tool.
CGT	Compagnie Générale de Transport.
EPE	Entreprise Publique Economique.
SPA	Société Par Action.
TKT	Tonnes Kilomètres Transportés.
DOA	Direction des Opérations Aériennes.
AH	Air Algérie.
AIMS	Airlines Information Management Système.
ATL	Aircraft Technical Log.
BLF	Bon de Livraison du Fuel.
LDM	Load Message.
FRL	Fuel Record Log.
LDS	Loadsheet.
AGS	Analyses Ground System de SAGEM.
PVT	Plan du Vol Technique.
HL	Hectolitre.
G	Gallon.
ALG	Alger.
ORY	Orly.
APU	Auxiliary Power Unit.
GPU	Ground Power Unit.
ACU	Aircraft Cooling Unit.
NADP	Noise Abatement Departure Procédure.
GES	
CO2	
CH4	
N <sub>2</sub> O	Protoxyde d'azote
HFC	Hydrofluorocarbures
PFC	Per fluocarbures
SF6	Hexafluorure de soufre

GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'Evaluation
UNFCCC	Convention Cadres des Nations Unies sur les Changements Climatiques
AIE	Agence Internationale de L'Energie.
FESG	Forecasting and Economic Study Groupe de l'Oaci
CAEP	Comité de la protection de l'environnement en aviation (Comité de l'Oaci)

## Liste des symboles

Symbole	signification	unité
Mf	masse de carburant f utilisée.	Tonne.
FCf	facteur de conversion de carburant f. de CO2/kg decarburant.	Kg
FN	Qtt de carburant consommé pour un vol N.	Tonne.
TN vol. Tonne. TN+	Qtt de carburant dans le réservoir avant le Qtt de Carburant avant le décollage. Avec les cales en place avant le vol.	Tonne. UN
RN	Qtt de carburant restant du vol précédent.	Tonne.
TN	Qtt de carburant à l'enlèvement des cales.	Tonne.
RN	Qtt de carburant restant à la pose des cales Après le vol.	Tonne.
AFBR AO, AT	Taux moyen de consommation de carburant Pour l'exploitant d'avions (AO) et le type d'avion (AT).	Tonne / heure.
BHAO, AT, N	Temps cale à cale pour le vol international à L'étude (=vol N) pour l'exploitant d'avions (AO) Et le type d'avion (AT).	Heure.
UAO, AT, N	Carburant embarqué pour le vol international N pour l'exploitant d'avions (AO) et le type d'avion(AT) déterminé en appliquant la méthode de suivi Du carburant embarqué.	Tonne.
d	Densité.	
$\rho$	Masse Volumique.	Kg / m3.

## **INTRODUCTION GENERALE**

Au 21<sup>ème</sup> siècle, la communauté scientifique se défie contre le problème de la qualité de l'air et la pollution atmosphérique, un sujet qui a vu le jour récemment en Algérie vu les effets nocifs remarquables sur l'environnement et la santé humaine.

La pollution atmosphérique qui représente un enjeu de la santé publique et environnementale, ne s'arrête pas à l'échelle locale ou régionale mais aussi peut aller jusqu'à l'échelle planétaire à cause des polluants émis qui ne restent pas stagnés auprès de leurs sources d'émissions.

De ce fait, l'aviation commerciale représente actuellement environ 3,5 % des émissions annuelles mondiales de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) provenant de la combustion de combustibles fossiles.

L'activité aérienne devrait croître en moyenne annuelle d'environ 4,5 à 4,8% au cours des prochaines décennies, et par conséquent la contribution de l'aviation aux émissions mondiales de CO<sub>2</sub> des combustibles fossiles pourrait atteindre 4,6 à 20,2% d'ici le demi-siècle.

Des politiques d'un certain nombre de juridictions ont apparu pour lutter contre l'impact climatique de l'aviation, dont l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI) qui a adopté un objectif de croissance neutre en carbone de l'aviation internationale à partir de 2020 et l'association internationale du transport aérien (IATA) qui a tracé un objectif d'une réduction de 50% des émissions de CO<sub>2</sub> d'ici 2050.

La compagnie aérienne algérienne Air Algérie est notamment concernée par ce fait. Elle émet plus de 900 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an, un annuel de quantités alarmantes qui l'a emmené à la surveillance et la réduction de ses émissions.

Depuis 2010 la compagnie a franchi le premier pas vers la réduction de ses émissions en créant une filiale chargée du suivi et de l'étude des émissions de CO<sub>2</sub> surnommée la Cellule Environnement.

L'objectif de ce travail est le suivi des émissions de CO<sub>2</sub> des aéronefs d'Air Algérie. Plus précisément l'étude va viser le plan du suivi et les méthodes de calculs des émissions CO<sub>2</sub> adoptés par la compagnie d'étude, ainsi que l'exploitation des solutions alternatives à ce problème.

Ce travail comprend quatre chapitres, dont le premier représente des descriptions du phénomène de l'effet de serre, le rôle des émissions autres que le gaz carbonique, ensuite l'état des lieux et la croissance du secteur et évolution des émissions : les enjeux de long terme.

Dans le chapitre deux, nous nous sommes intéressés au dioxyde de carbone comme étant le polluant gazeux sur lequel est basée notre étude, ses caractéristiques, l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> durant les dernières années, ainsi que dans le domaine de l'aviation civile et enfin le cadre réglementaire des émissions de CO<sub>2</sub> dédié au transport aérien.

La chapitre trois vise à suivre les émissions de CO<sub>2</sub> d'Air Algérie, tout d'abord nous présentons l'entreprise Air Algérie et ensuite nous décrivons la méthode appliquée par cette dernière dans le cadre de quantifier ses émissions et indiquer l'exemple du vol considéré pour l'application détaillée du plan de suivi.

Lors du dernier chapitre, nous présentons les résultats de calcul des émissions de CO<sub>2</sub> selon la méthode adaptée par Air Algérie et discuter les paramètres influençant ces émissions, pour enfin proposer quelques solutions pour améliorer les chiffres d'émissions dans les prochaines années.

# **CHAPITRE 01**

## **La contribution du transport aérien au changement climatique**

## -Introduction :

Dans ce premier chapitre, nous donnons en premier lieu des descriptions du phénomène de l'effet de serre, le rôle des émissions autres que le gaz carbonique, ensuite l'état des lieux et la croissance du secteur et évolution des émissions : les enjeux de long terme.

### 1. Descriptions du phénomène de l'effet de serre :

L'effet de serre est un phénomène naturel qui maintient sur la Terre une température moyenne de 15°C, permettant ainsi à la vie d'exister. Sans lui, cette température serait de -18°C, ce qui rendrait la Terre totalement inhabitable. Il est provoqué par la présence naturelle de gaz, les gaz à effet de serre (GES), qui piègent dans l'atmosphère une partie de la chaleur émise par le soleil. Ces gaz sont très peu abondants, les plus répandus à l'état naturel étant la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone et l'ozone.

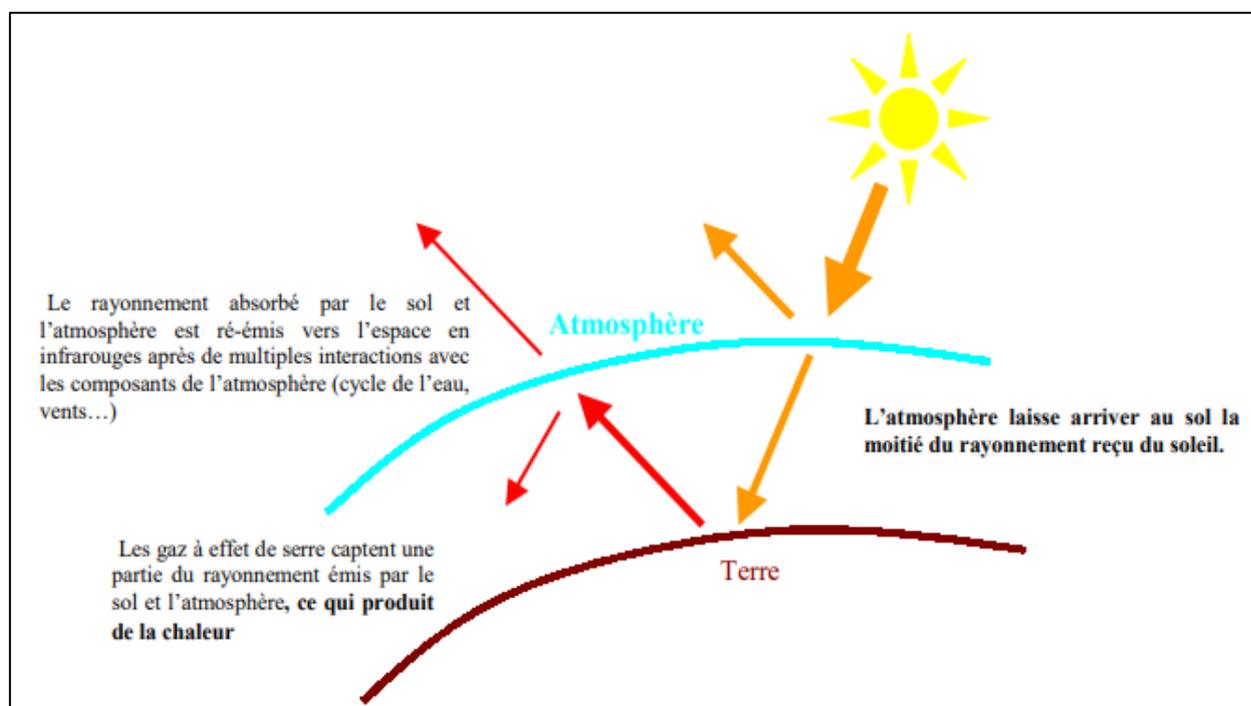


Figure 1.1 Description du phénomène d'effet de serre[1]

Du fait du développement des activités humaines, la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère s'est sensiblement modifiée. En plus des gaz naturellement présents dans l'atmosphère sont émis plusieurs autres gaz d'origine purement humaine, quasiment absents à l'état naturel. La communauté internationale a ainsi identifié **six gaz ou familles de gaz responsables de l'effet de serre** :  $\text{CO}_2$  –  $\text{CH}_4$  –  $\text{N}_2\text{O}$  – HFC – PFC –  $\text{SF}_6$ . Cet ensemble de gaz a été défini au cours de la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques dont l'aboutissement, le protocole de Kyoto, jette les bases d'une politique globale de réduction de leurs émissions.

Cette liste de gaz n'a pas pour vocation à être exhaustive par rapport à l'ensemble des phénomènes conduisant à l'effet de serre : certains gaz régis par le protocole de Montréal (préservation de la couche d'ozone) sont aussi des gaz à effet de serre. Les gaz dont la production et la consommation sont contrôlées dans le protocole de Montréal ne sont pas

comptabilisés dans le protocole de Kyoto.

Parmi ces 6 gaz ou familles de gaz, les avions émettent uniquement du CO<sub>2</sub>. Ils sont cependant à l'origine d'autres polluants ayant un impact sur le changement climatique.

## **2. Le rôle des émissions autres que le gaz carbonique :**

Outre le gaz carbonique, les moteurs d'avion émettent de la vapeur d'eau, des oxydes d'azote, des oxydes de soufre et des particules, qui ont un impact sur le changement climatique.

Les oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub> principalement), bien que n'étant pas des gaz à effet de serre, interviennent de manière indirecte en créant de l'ozone (O<sub>3</sub>) et en détruisant du méthane (CH<sub>4</sub>). Les oxydes d'azote ont ainsi deux effets contraires, par la création et la destruction de gaz à effet de serre. L'état actuel des connaissances scientifiques ne permet pas d'évaluer l'impact global des NOx avec précision. Le GIEC s'accorde cependant pour dire que ces émissions se traduisent par un léger réchauffement en moyenne (augmentation de l'effet de serre dans les zones où il y a un trafic aérien important, diminution ailleurs).

Associées aux émissions de vapeur d'eau, les émissions d'oxydes de soufre[2] et de particules entraînent la formation de traînées de condensation. Celles-ci couvrent environ 0,1% de la surface de la Terre (estimation du GIEC, pour 1992), avec des variations importantes dues à la localisation des flux de trafic. Similaires à de fins nuages d'altitude, elles réchauffent l'atmosphère de par leurs propriétés optiques.

Les cirrus sont des nuages d'altitude qui recouvrent de manière naturelle environ 30% de la surface de la Terre. Il s'en forme aussi lorsque les traînées de condensation deviennent persistantes. D'après le GIEC, les cirrus produits par les traînées de condensation recouvriraient entre 0% et 0,2% de la surface du globe. Néanmoins les mécanismes associés à leur formation dans l'atmosphère sont très mal connus, et nécessitent des recherches approfondies.

Les phénomènes en cause ont des durées de vie très différentes. Selon le rapport du GIEC Aviation and the Global Atmosphere, la durée de vie du gaz carbonique dans la troposphère et dans la stratosphère (où se déroule une partie des vols intercontinentaux) est de l'ordre de 100 ans. Les durées des autres phénomènes sont beaucoup plus courtes. Selon le GIEC, dans la troposphère les durées de vie des émissions autres que le CO<sub>2</sub> sont de deux semaines ou moins ; celle de l'ozone produit par les oxydes d'azote est d'environ un mois. Ces durées de vie dans la stratosphère sont plus longues mais dans tous les cas inférieures à 10 ans.

Cependant les émissions autres que le CO<sub>2</sub>, si elles ont des durées relativement courtes, ont des effets puissants. Pour décrire l'effet radiatif global des émissions du transport aérien à un moment donné, le GIEC utilise un coefficient multiplicateur qui s'applique à l'effet des émissions cumulées de CO<sub>2</sub> depuis l'origine de l'aviation. Le rapport précité estime que ce coefficient était de 2,7 en 1992. Par comparaison, le rapport indique que pour la somme de toutes les activités humaines le forçage radiatif total est au maximum de 1,5 fois celui du seul CO<sub>2</sub> émis. Pour autant et dans l'attente d'une meilleure information du GIEC, l'impact du transport aérien en ce qui concerne les émissions de CO<sub>2</sub> doit être multiplié par un facteur de 1,8 (rapport de 2,7 sur 1,5) lorsqu'on le compare aux sources terrestres. incertitudes scientifiques entre 2,2 et 3,4. Le rapport GIEC L'aviation et l'atmosphère planétaire indique, : « En 1992, le coefficient de forçage radiatif de l'aviation (rapport du forçage radiatif total et de celui des seules émissions de CO<sub>2</sub>) était de 2,7 ; dans le scénario FA1 il atteint 2,6 en 2050. Ce coefficient est compris entre 2,2 et 3,4 en 2050 selon le scénario considéré. ».

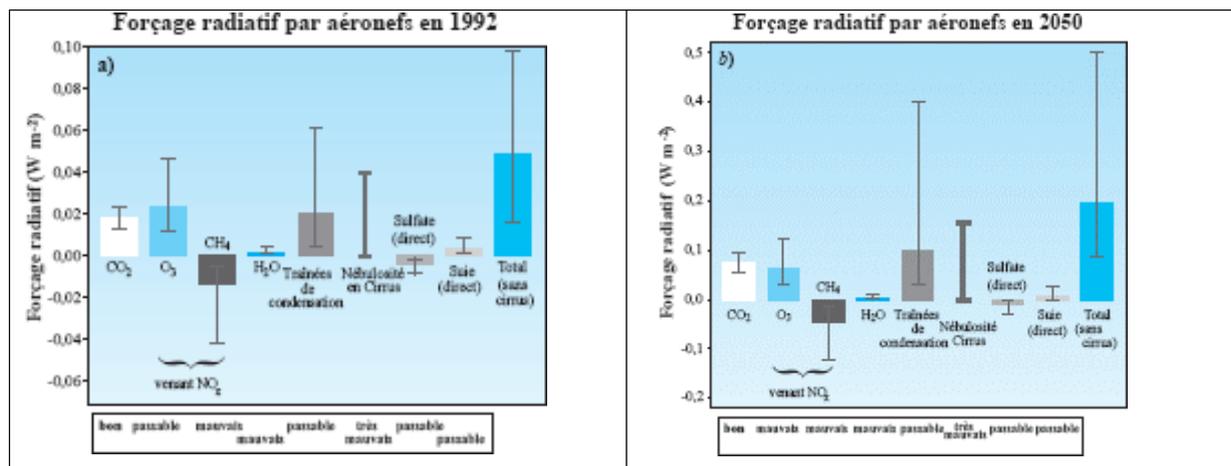


Figure 1.2 :Forçage radiatif des avions [3]

L'effet de serre lié aux émissions d'oxydes d'azote, d'oxydes de soufre et de particules paraît donc très important, bien que les phénomènes auxquels il donne lieu soient fugitifs. En raison de leurs spécificités la réduction de ces émissions appelle, comme indiqué plus loin, des mesures distinctes de celles à employer pour limiter ou réduire les émissions de gaz carbonique. Les incertitudes qui pèsent encore sur l'importance de ces effets, certains ayant pu être sous-estimés, d'autres surestimés, ne doivent pas conduire à l'inaction.

### 3. Etats des lieux :

Depuis 1996, les Parties visées à l'annexe I [4].sont tenues de soumettre à l'UNFCCC un inventaire annuel des émissions de gaz à effet de serre. Il est cependant difficile de trouver des données d'émissions exhaustives pour l'ensemble des pays.

#### 4.1. Les émissions de gaz à effet de serre dans le monde :

Le volume mondial des émissions de gaz à effet de serre atteignait, en 2000, 33,9 milliards de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> [5], en progression annuelle moyenne de +1,0% par rapport à 1990 (30,6 milliards de tonnes).

La contribution de chaque pays à ce volume mondial dépend étroitement de son niveau de développement et du rythme de sa croissance économique. Les pays les plus riches sont donc les plus émetteurs de gaz à effet de serre.

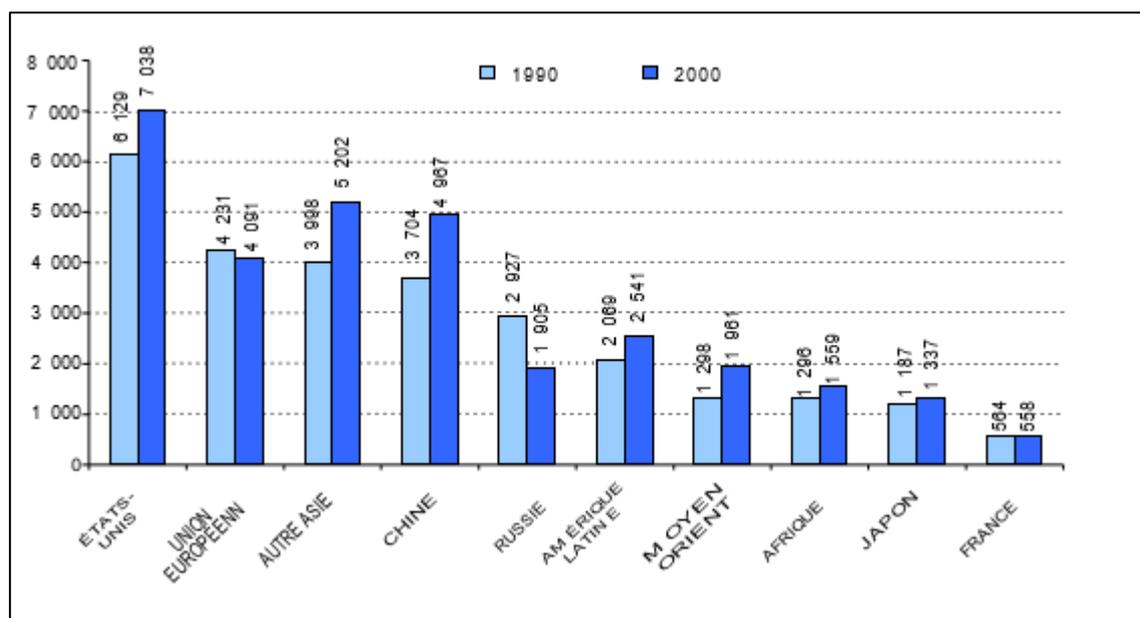


Figure 1.3 : Émissions de gaz à effet de serre par zone géographique[6]

En 2000, la contribution des États-Unis, avec 7,0 milliards de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>, représente 20,8% des émissions mondiales et celle de l'Union européenne 4,1 milliards de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> soit 12,1% de ces émissions. Les émissions de la France (n.c. le transport aérien international) sont évaluées à 558 millions de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> en 2000, soit 13,6% des émissions de l'Union européenne et 1,6% des émissions mondiales.

Émissions de gaz à effet de serre (Milliards de te CO <sub>2</sub> )	2000	% Total Monde
Monde	33,9	100%
États-Unis	7,0	20,8%
Union européenne	4,1	12,1%
France	0,558	1,6%

Tableau 1.1 : Émissions de gaz à effet de serre : les chiffres clés [7]

Dans les autres zones géographiques, il convient de remarquer l'importance de la contribution du Japon (1,3 milliard de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>), de la Chine (5,0 milliards de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>) et celle de la zone « Autres Asie » (5,2 milliards de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>). On voit ainsi que les émissions de pays asiatiques en développement (Chine et « Autres Asie »), avec 10,2 milliards de tonnes, dépassent largement celles des États-Unis (7,0 milliards de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>) et, qui plus est, leur progression, au rythme de 2,8% l'an (1990-2000) s'inscrit dans une tendance très supérieure à celle des autres zones principalement émettrices.

Pour autant, et malgré ces évolutions, les écarts en termes d'émission d'équivalent CO<sub>2</sub> par habitant demeurent impressionnants : 24,2 t/habitant aux États-Unis et 10,6 en Europe en 2000 (9,1 pour la France) d'une part, 3,7 t/ en Chine et 2,6 t dans la zone Autre Asie d'autre part.

## 4.2. Contribution du transport aérien aux émissions mondiales :

### 4.2.1. Les émissions de CO<sub>2</sub> du transport aérien :

D'après l'AIE, les émissions totales de l'aviation (transport aérien intérieur et international des Pays de l'Annexe 18 et pays Non Annexe 1 de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement) s'élevaient, en 2002, à 652,9 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> soit 2,0 % **des émissions mondiales de gaz à effet de serre**, dont 354,4 millions de tonnes pour le trafic international.

Millions de tonnes de CO <sub>2</sub>	1990	2002	Croissance 1990-2002	Trafic en PKT 1990-2002
<b>Transport aérien intérieur</b>	224,9	298,9	+32%	+22%
<b>Transport aérien international</b>	286,0	354,4	+24%	+85%
<b>Total aérien</b>	510,9	652,9	+27%	+55%

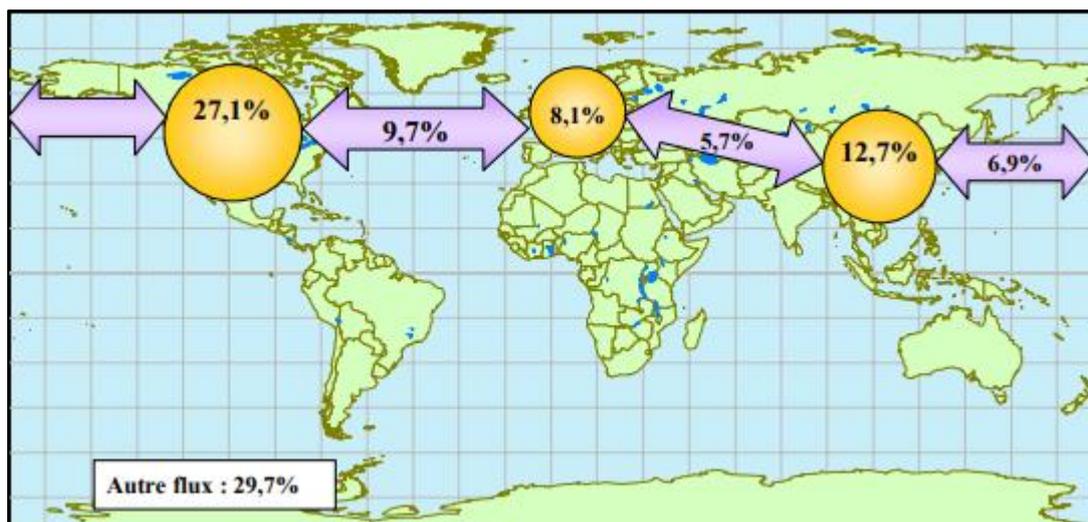
**Tableau 1.2 : Émissions mondiales de CO<sub>2</sub> du transport aérien mondial [8]**

Les émissions de CO<sub>2</sub> sur cette période (+27%) augmentent deux fois moins vite que le trafic (+55%) sur la période 1990-2002, illustrant l'amélioration de l'efficacité énergétique du mode aérien. Ces gains sont particulièrement importants pour le trafic international (+24% en termes de CO<sub>2</sub> et +85% pour le trafic) ; le cas du trafic intérieur est très différent : les émissions de CO<sub>2</sub> (+32%) progressent plus rapidement que le trafic (+22%). Cette situation s'explique en grande partie par l'importance du trafic intérieur des États-Unis exploité avec une flotte ancienne aux faibles performances énergétiques.

### 4.2.2. Les axes et pôles du transport aérien :

Les émissions de CO<sub>2</sub> du transport aérien commercial (intérieur et international) sont concentrées principalement sur trois pôles : Amérique du nord, Asie Pacifique et Europe, et sur trois axes : Atlantique Nord, Europe-Asie, Asie-Amérique du Nord.

En 1997, ces axes et pôles représentaient 342,7 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> [9] soit 70,3% des émissions du transport aérien commercial (487 millions de tonnes) [10], en progression annuelle moyenne de +4,8% par rapport à 1992 (270,9 millions de tonnes).



**Figure 1.4 : Répartitions géographiques des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation civile en 1997[11]**

#### 4.3. Contribution du transport aérien européen :

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées au transport aérien de l'Union européenne (25 pays) sont estimées, sous toutes réserves, par Eurocontrol à 119 millions de tonnes en 2002 pour un trafic de 551 millions de passagers en 2002 dont 19% concerne des déplacements intérieurs à chacun des pays.

Ces émissions se répartiraient en 15% pour le trafic intérieur, 29% pour le trafic intra-communautaire et 56% pour le trafic international.

Elles représenteraient, sur la base de cette méthode de calcul 18% des émissions mondiales si l'on attribue à l'Union européenne que la moitié des émissions du trafic international, l'autre moitié étant affectée aux pays tiers. Les émissions de CO<sub>2</sub> du trafic intérieur de chacun des pays de l'UE et du trafic intra-communautaire représenteraient dans ce cas 8,0% des émissions mondiales de l'aviation.

#### 4.4. Les émissions de CO<sub>2</sub> du transport aérien :

Les émissions totales du transport aérien se montaient à 18,1 Mt CO<sub>2</sub> en 2002 (soit près de 13% des émissions de l'UE) en croissance de 50,8 % depuis 1990, ce qui est supérieur à la croissance mondiale et découle d'une croissance elle aussi beaucoup plus rapide du trafic.

Millions de tonnes de CO <sub>2</sub>	1990	2002	Croissance 1990-2002	Trafic en PKT 1990-2002
Trafic intérieur	3,8	5,1	34,2%	57,0%
Trafic international yc UE	8,2	13,0	58,5%	109,0%
<b>Trafic Total</b>	<b>12,0</b>	<b>18,1</b>	<b>50,8%</b>	<b>98,2%</b>

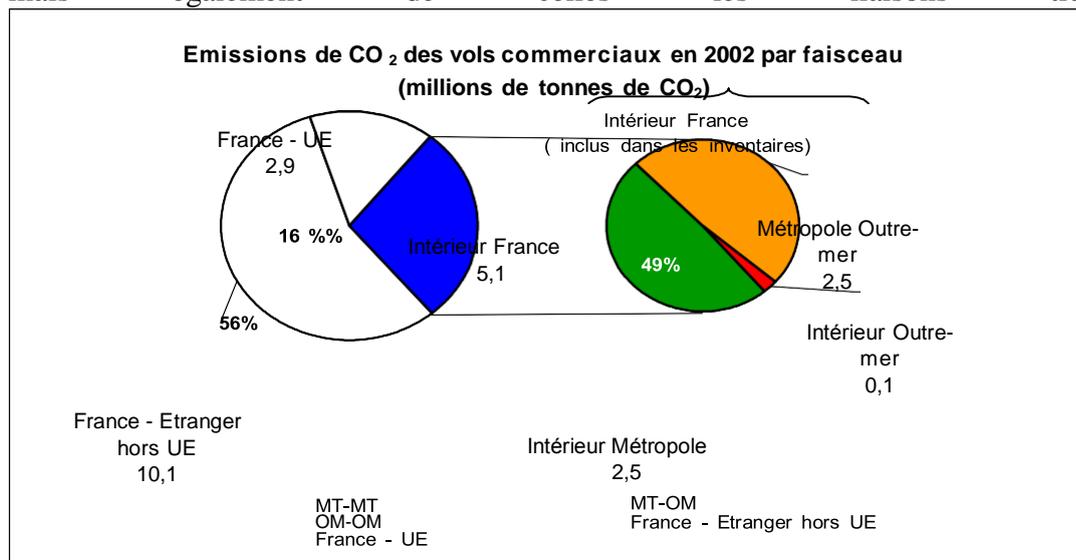
**Tableau 1.3 : Émissions de gaz à effet de serre du trafic aérien**

Sur cette période, leur part dans les émissions totales de gaz à effet de serre est passée de 1% à 1,3%. Ces proportions, supérieures à celles rencontrées dans l'Union européenne où le transport aérien représente 0,6% des émissions, s'expliquent par la part importante des émissions liées à la desserte de l'Outre-mer (49% des émissions sont liées à la desserte de

l'Outre-mer).

Sur la période 1990-2002, le trafic aérien intérieur a augmenté de 57%, les émissions liées de 34,2%. Mais dans le même temps la part du trafic intérieur dans les émissions totales du transport aérien est tombée de 32% à 28%. On peut observer à cette occasion que l'importance de la progression du trafic intérieur (+57%), supérieure à celle observé pour l'ensemble du monde (+22%) (cf. tableau 5), est directement liée à la desserte de l'outremer, en progression de +87% sur la période.

Il convient de noter, pour ces dernières années, la nette diminution des émissions liées au trafic intérieur : 5,7 Mt en 2000, 5,1 Mt en 2002 et 5,0 Mt(est.) pour 2003 ; cette situation s'explique par la diminution du trafic des liaisons radiales en raison de la concurrence TGV mais également de celles les liaisons transversales.



**Figure 1.5 : Émissions des vols commerciaux [12]**

Le trafic aérien international est, quant à lui, sur une tendance de croissance encore plus forte : entre 1990 et 2002, le trafic a progressé de 109% en PKT et les émissions de CO<sub>2</sub> liées de 59%, ce qui traduit implicitement une diminution des émissions de CO<sub>2</sub> au passager-kilomètre-transporté.

**L'efficacité énergétique**, mesurée en gCO<sub>2</sub>/PKT a progressé principalement sur les dessertes internationales (+22% en 12 ans) et sur l'Outre-mer (+25% en 12 ans).

La croissance du trafic est liée directement à celle de la croissance économique mais également aux politiques tarifaires des compagnies aériennes. Celles-ci, grâce à une amélioration de leur efficacité, à une diminution des tarifs, à une politique commerciale plus incisive et une diversification de leur gamme tarifaire, ont permis à de nouveaux consommateurs d'accéder aux déplacements par avion, alimentant ainsi la croissance du secteur. Selon l'OACI, et basé sur l'observation de 22 années d'évolution du transport aérien au niveau mondial, l'élasticité de la demande de transport aérien est de 1,34 par rapport à la croissance économique et de -0,58 à la recette au passager-kilomètre-transporté. [13]

## 4. Croissance du secteur et évolution des émissions : les enjeux de long terme

### 1.1. Les perspectives d'évolution au niveau mondial :

#### 5.1.1. Les perspectives à moyen terme de l'OACI [14] (2010-2020) :

Le FESG du CAEP est chargé de l'évaluation des instruments économiques pour la réduction des émissions de l'aviation civile. Au cours de l'année 2000, le FESG a élaboré un scénario d'évolution des émissions de gaz à effet de serre de l'aviation à l'aide du modèle AERO.

Dans le scénario de référence, *les émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation mondiale atteindraient 718,7 millions de tonnes en 2010 et 1,0 milliard en 2020* ; celles liées au transport aérien intérieur de l'Union européenne pourraient atteindre **54,9 millions de tonnes en 2010** soit 7,6% des émissions de l'aviation mondiale.

Scénario de référence	1998	2010	t.c.a.m 1998-2010	2020	t.c.a.m 1998-2020
Émissions de CO <sub>2</sub> (millions de tonnes)	514,0	718,7	+2,7%	1000,3	+3,0%
Trafic (Milliards de TKT)	421,7	779,5	+5,3%	1315,7	+5,3%

**Tableau 1.4 : Projection des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation commerciale**[15]

Flux de trafic	Émissions de CO <sub>2</sub> (millions de tonnes)			Trafic en TKT (fret +pax)
	1997	2010	t.c.a.m 1997-2010	t.c.a.m 1997-2010
Intra UE	39,4	54,9	2,6%	+5,1%
UE – Amérique du nord	47,3	73,4	3,4%	+5,8%
UE – Asie	28,8	45,7	3,6%	+6,9%

**Tableau 1.5 : Projection en 2010 des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation commerciale de l'Union européenne** [16]

La répartition à 2010 entre les différents axes et pôles du transport serait différente de ce qu'elle est aujourd'hui (cf. Tableau 6). Dans le scénario de croissance modérée, les émissions de CO<sub>2</sub> à l'intérieur de l'Union européenne (à 15) pourraient atteindre 54,9 millions de tonnes, soit 7,6% des émissions de l'aviation mondiale. Leur importance serait en baisse par rapport à 1997 (elles étaient de 8,1%), tout comme celles des Etats-Unis (23,4% en 2010 contre 27,1% en 1997). Ces évolutions, d'après les hypothèses retenues, devraient, à titre principal, se faire au « profit » de la zone Asie (14,9% des émissions).

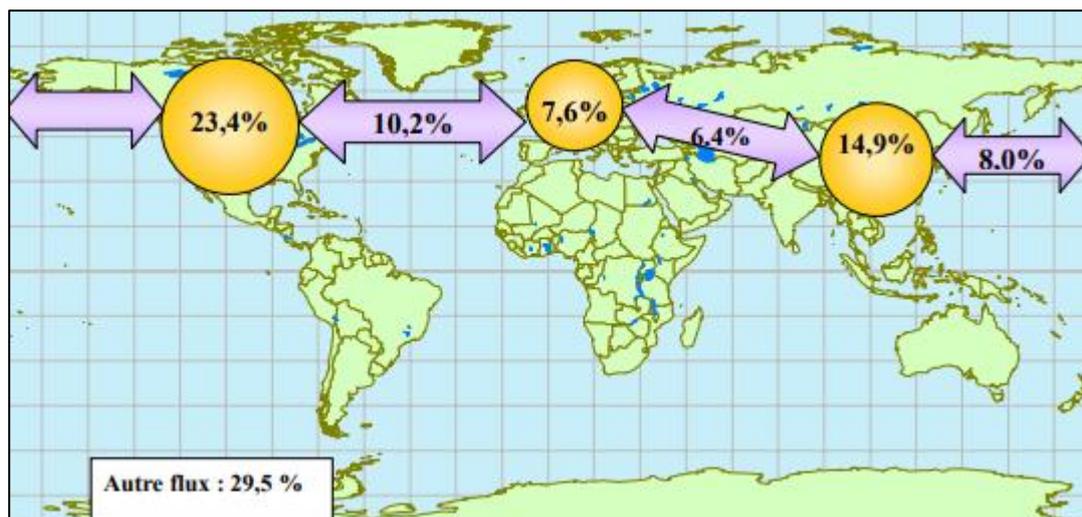


Figure 1.6 : Estimation des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation en 2010[17]

Dans l'ensemble, les hypothèses de croissance de trafic sur lesquelles reposent ces prévisions d'émissions de CO<sub>2</sub>, même si elles datent maintenant de quelques années (1998-2000) restent valables. En effet, même si l'activité du transport aérien demeure fragile et particulièrement vulnérable à l'environnement politique et aux conditions de sûreté et de sécurité (sanitaires entre autres), les facteurs fondamentaux qui sont à l'origine même de son développement (croissance économique, besoin de mobilité en regard de la globalisation, des échanges internationaux, du tourisme...) demeurent profondément robustes sur le long terme et leurs effets, plus ou moins renforcés, à la faveur de baisses tarifaires et de la stratégie des opérateurs.

### 5.1.2. Les perspectives à long terme de l'OACI (2050) :

En 1998, le FESG a élaboré un ensemble de scénarios de croissance des émissions de CO<sub>2</sub> à long terme (Réf. 4). Ces scénarios reposaient sur les hypothèses suivantes :

- la demande de transport aérien est principalement tirée par la croissance économique ;
- le prix du kérosène ne varie pas de manière plus importante que les autres coûts ;
- le développement des autres secteurs (TGV, télécommunications) n'a pas d'influence sur la demande de transport aérien ;
- les infrastructures sont suffisantes pour satisfaire l'ensemble de la demande de transport aérien ;
- l'efficacité énergétique augmente de 1% à 1,3% l'an entre 1997 et 2050.

Sur ces bases, le FESG a retenu trois scénarios de croissance du trafic aérien à l'horizon 2050 : +2,2%, +3,1% et 3,9% par an.

Dans le cas du scénario central, *les émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation mondiale atteindraient 1,5 milliard de tonnes en 2050*, en progression annuelle moyenne de l'ordre de 1,7% depuis 1990, et le trafic aérien de 3,1% l'an. Entre 1990 et 2050, les émissions du transport aérien pourraient être multipliées par un facteur proche de 3.

Scénario de croissance du trafic aérien	Émissions de CO <sub>2</sub> (millions de tonnes)			Trafic en PKT
	1990	2050	t.c.a.m 1990-2050	t.c.a.m 1990-2050
Faible croissance	550	846	+0,7%	+2,2%
<b>Scénario central</b>	<b>550</b>	<b>1 485</b>	<b>+1,7%</b>	<b>+3,1%</b>
Forte croissance	550	2 347	+2,4%	+3,9%

**Tableau 1.6 : Projection en 2050 des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation (FESG) [18]**

## 5.2. Les perspectives d'évolution des émissions du transport aérien :

A l'horizon 2025, les perspectives d'évolution du trafic sont adossées aux scénarios d'évolution du transport aérien retenus par la DGAC. Pour les scénarios considérés comme les plus probables, les perspectives de croissance du trafic intérieur de passagers des aéroports de métropole seraient faibles, entre +1,5% l'an et +0,6%. Pour le trafic international, les taux de croissance seraient plus élevés et varieraient, en termes de passagers, de +3,0% à +3,6% l'an pour l'Union européenne et de +3,4% à +4,2% l'an pour le reste du trafic international. Compte tenu de l'évolution de la longueur d'étape, la croissance annuelle moyenne du trafic de la métropole en termes de PKT est estimé entre +3,6% et +4,3% selon le scénario, cette croissance étant essentiellement liée à la forte progression du trafic international.

A partir de ces hypothèses, le volume des émissions totales de *l'aviation commerciale peut être estimé en 2025 de l'ordre 27 et 32 millions de tonnes* de CO<sub>2</sub>, soit une croissance de +1,8% l'an à +2,5% l'an, respectivement, par rapport à 2002, une croissance essentiellement liée à celle du trafic international.

La stabilisation des émissions liées au trafic intérieur devrait se poursuivre dans le futur en raison de la stagnation du trafic intérieur, liée à la maturité atteinte par ce marché, au développement du réseau TGV et à la concurrence ferroviaire particulièrement significative sur ce type de marché, et aux gains en matière d'efficacité énergétique constatés sur ce marché au cours des dernières années.

A un horizon plus lointain (2050), sur la base d'hypothèses de croissance du trafic aérien de l'ordre de +1,7% à +2,8% l'an en termes de passagers par rapport à 2002, et de +2,5% à +3,8% en termes de passagers-kilomètres-transportés (2002-2050), la progression des émissions de CO<sub>2</sub> liées au transport aérien peut être estimée de l'ordre de 1,1% à 2,5% l'an.

## 6. Conclusion :

Les différentes perspectives au niveau mondial sont assez homogènes mais plutôt tendancielles (prix du kérosène stable, couplage de la demande et de la croissance économique, amélioration relativement faible de l'efficacité énergétique, pas de substitution possible aux déplacements et pas de contrainte pesant sur le développement du transport aérien).

Elles permettent cependant de mesurer l'enjeu : même dans l'hypothèse d'un ralentissement net de la croissance de la demande du transport aérien après 2020, (constituant en quelque sorte un scénario fil de l'eau) les émissions de CO<sub>2</sub> pourraient être multipliées par 3 entre 1990 et 2050, alors que pour l'ensemble des émissions d'origine anthropique l'on considère comme nécessaire une division par deux au niveau mondial pour faire face au changement climatique. De faible, la part des impacts sur le climat dus à l'aviation deviendrait alors très importante.

On peut cependant estimer qu'un certain nombre de facteurs pourraient jouer à long terme pour infléchir davantage la croissance du trafic et donc celle des émissions. Si le baril de pétrole reste à un niveau élevé et a fortiori s'il renchérit, cette hausse finira par se répercuter sur les prix payés par les passagers ou les marchandises. C'est le facteur principal qui peut venir modérer la demande au plan mondial. Mais d'autres facteurs pourront jouer dans le même sens : substitution modale là où elle est possible difficulté d'extension ou de création de plateformes aéroportuaires dans les zones densément peuplées : comportement nouveaux et plus responsables des acteurs économiques et des citoyens.

Se reposer sur cette seule perspective nous exposerait cependant au risque majeur de relâcher l'effort nécessaire pour combattre cette menace. En conséquence, nous avons considéré que cette prolongation de tendance constituait le scénario de référence à partir duquel il convenait d'ajuster nos propositions. La reprise du trafic aérien en 2004 nous confirme dans ce choix.

**CHAPITRE 2**  
**DIOXYDE DE CARBONE**

## 1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons d'abord définir le dioxyde de carbone, ensuite nous allons présenter ses caractéristiques, l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> durant les dernières années ainsi que dans le domaine de l'aviation civile, le cadre réglementaire des émissions de CO<sub>2</sub> par le transport aérien au niveau national et international et enfin les régimes de réduction de carbone navigationnel.

## 2. Dioxyde de carbone polluant gazeux

Comme il a été déjà mentionné dans le chapitre 1 dans le tableau 1.1, le CO<sub>2</sub> ayant la plus longue durée de vie dans l'air parmi les autres polluants, un critère qui le rend encore plus toxique en restant plus longtemps dans l'atmosphère.

Par définition, Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est un polluant gazeux primaire incolore, considéré comme le principal gaz à effet de serre à l'état naturel dont sa formation provient essentiellement de la combustion de substances carbonées puis par le chauffage, le trafic routier comme aérien et bien d'autres sources anthropiques. Mais aussi il peut être de sources naturelles comme les éruptions volcaniques, respiration des plantes etc.

## 3. Caractéristiques physico-chimiques de dioxyde de carbone

Le tableau 2.1 regroupe les caractéristiques physico-chimiques de dioxyde de carbone [19].

Caractéristique	Valeur
Poids moléculaire	44,01 g/mol
Gravité spécifique	1,53 à 21 C°
Densité critique	468 kg/m <sup>3</sup>
Concentration dans l'air	370,3 * 10 <sup>7</sup> ppm
Stabilité	Elevée
Liquide	Pression <415.8 kPa
Solide	Température <-78 C°
Constante d'Henry de solubilité	298,15 mol/ kg.bar

**Tableau 2.1 : Caractéristiques physico-chimiques du CO<sub>2</sub>**

**4. Emissions CO<sub>2</sub> dans les dernières décennies par secteur d'activité** Au cours des dernières décennies, les émissions annuelles de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) ont augmenté régulièrement dans la plupart des pays. En effet, selon des statistiques de l'Agence internationale de l'énergie, la consommation d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub> ont augmenté de 2,0% par an de 1997 à 2015.

La figure 2.1 représente l'évolution des émissions de CO2 dans le monde entre 1751 et 2017 [20].

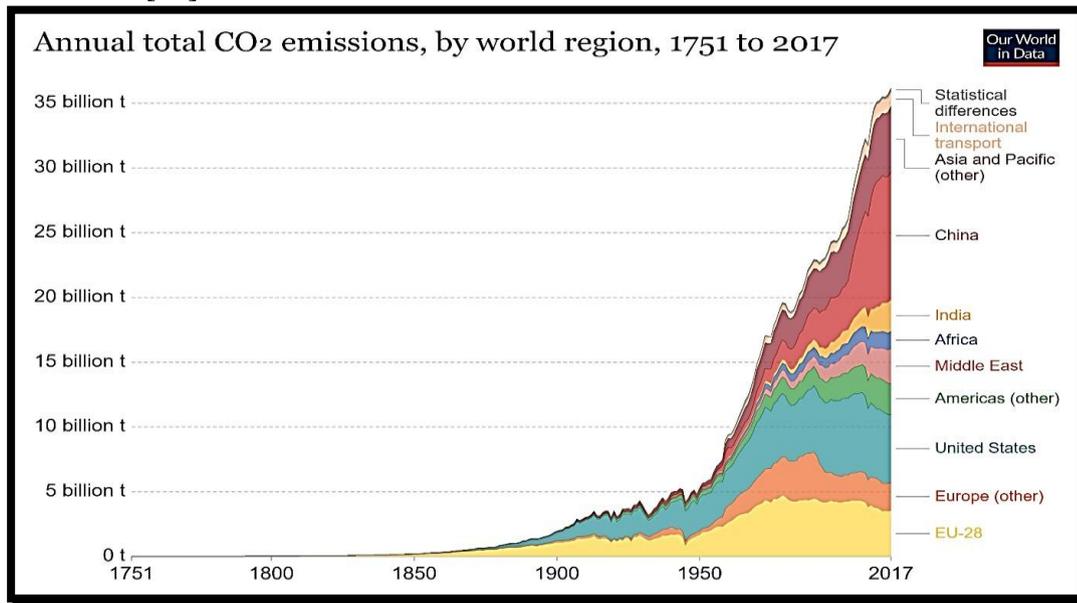


Figure 2.1 : Émissions annuelles totales de CO2 par région du monde de 1751 à 2017

Par ailleurs selon le rapport annuel publié du programme des nations unies pour l'environnement (PNUE), certains secteurs de l'économie et de l'énergie émettent en excès des gaz à effet de serre notamment le CO2.

La répartition des émissions de CO2 en Europe par secteur d'activité est montrée dans la figure 2.2 [21].

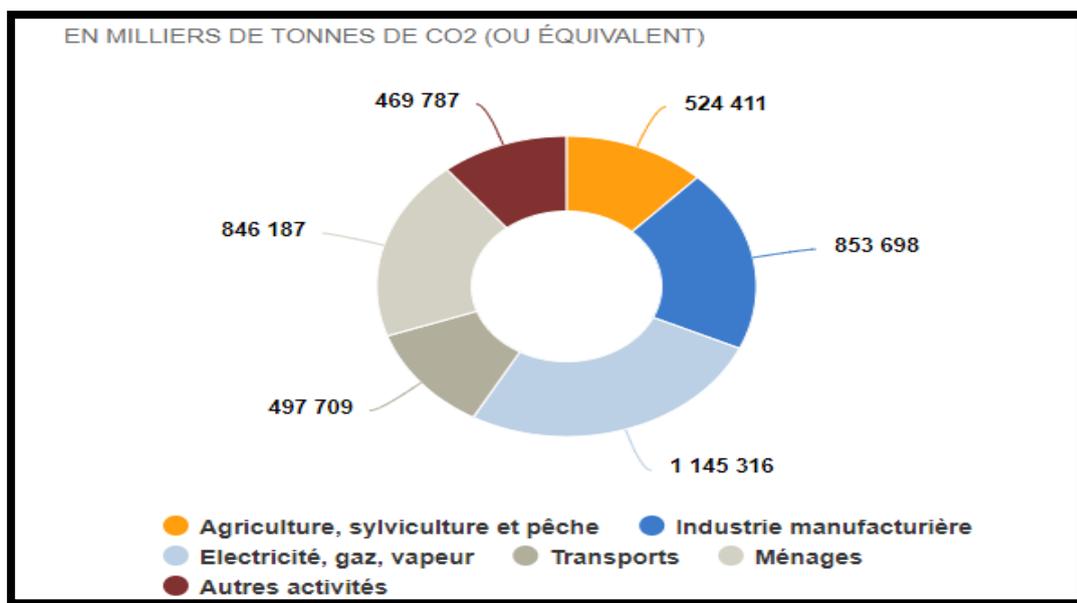


Figure 2.2 : répartition des émissions de CO2 en Europe par secteur d'activité.

Nous remarquons que certains secteurs sont encore plus polluants que d'autres, surtout celui du transport qui était considéré comme le secteur polluant de l'air numéro 1 entre 1990 et 2015 selon les chiffres les plus récents du centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA). Le transport routier et aérien contribue à 58% des émissions de CO<sub>2</sub> du transport, le ferroviaire à seulement 7%, et le fluvial et le maritime se partagent de façon équilibrée les 35% restants.

## 5. Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> dans le palier de l'aviation civile

Comme nous l'avons déjà cité, le transport aérien fait part du grand pourcentage des transports polluants. Le groupe d'action du transport aérien (ATAG) a signalé que les opérations aériennes mondiales ont produit 859 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> en 2017.

Les vols aériens dans le monde ont contribué de 2 à 3% du total des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> en 2012, et cette proportion pourra augmenter à l'avenir [22]. En outre, le trafic aérien devrait doubler d'ici 15 ans, tandis que la consommation de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub> devraient doubler en 25 ans [23].

La figure 2.3 exprime les émissions de CO<sub>2</sub> par transport et par heure de trajet [24].

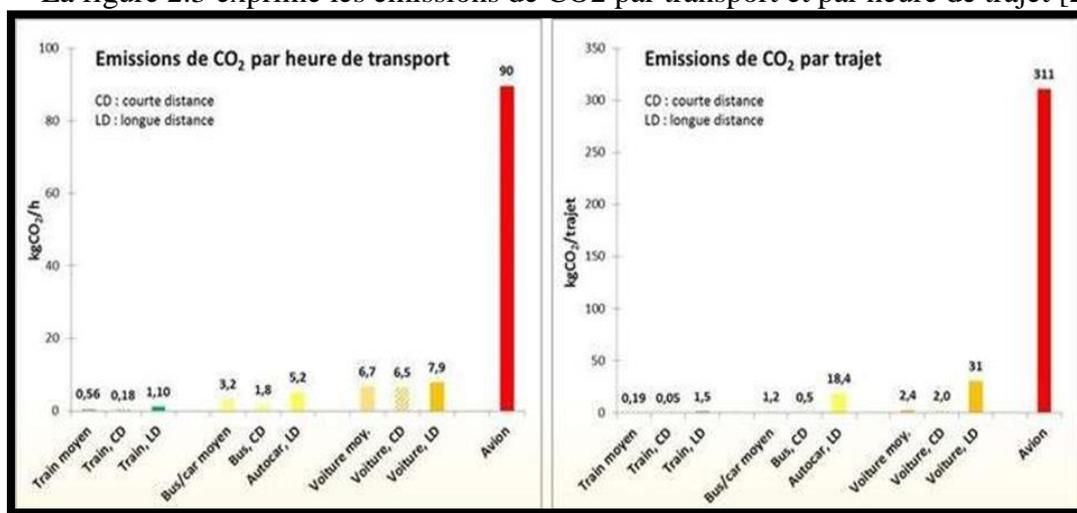


Figure 2.3 : Emissions de CO<sub>2</sub> par transport et par trajet.

L'aviation civile Algérienne, dans son activité de transport, émet du CO<sub>2</sub> avec des quantités relativement importantes comme le montre le tableau 2.2. Ces chiffres illustrent l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> par l'ensemble des compagnies aériennes algériennes au niveau national et international entre 2011 et 2018.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>National (tonnes)</b>	172 322	167 448	168 916	168 738	182 970	188 340	195 452	222 170
<b>International (tonnes)</b>	618 248	690 355	757 229	870 269	854 854	911 163	923 398	976 048

Figure 2.2 : Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> par l'aviation algérienne au niveau national et international entre 2011 et 2018.

Nous remarquons que les émissions de CO<sub>2</sub> ne cessent d'augmenter durant ces années affichées. Cette croissance peut être liée à la croissance économique, industrielle mais également aux politiques tarifaires des compagnies aériennes.

Devant ces chiffres alarmants et cette croissance importante, les états ainsi que les organismes nationaux et internationaux ont instauré des réglementations en vue de protéger l'environnement et minimiser tout impact effrayant.

## **6. Cadre réglementaire des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation civile**

En raison du caractère périlleux de ces polluants, et la dégradation de la qualité de l'air qui provoque la dégradation de l'environnement et de sa biotique, il est nécessaire et urgent que des solutions soient trouvées à cette problématique durable.

### **6.1. Cadre réglementaire national**

Il n'existe pas de loi nationale concernant les émissions de CO<sub>2</sub> émis par les aéronefs mais il existe une réglementation plus générale qui vise la protection de l'environnement, nous citons :

- Loi N°03-10 du 19-07-2003 : protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- Loi N° 01-19 du 12-12-2001 : gestion du contrôle et à l'élimination des déchets.
- Loi N°0512 du 04-08-2005 : relative à pollution de l'eau.
- La loi N° 01-21 du 7 Chaoual 1422 correspondant au 22 décembre 2001 : fixation des modalités d'application de la taxe complémentaire sur la pollution atmosphérique d'origine industrielle.

### **6.2. Cadre réglementaire international**

Pour cela il existe deux régimes internationaux :

- Système communautaire d'échange de quotas d'émission EU-ETS.
- Régime de compensation et de réduction de carbone pour l'aviation civile internationale (CORSIA).

#### **6.2.1. Système communautaire d'échange de quotas d'émission EU-**

**ETS** Le système communautaire d'échange de quotas d'émission (SCEQE) (en anglais Emission Trading Scheme, ou encore European Union Emission Trading Scheme – EU ETS) est un mécanisme de droits d'émissions de dioxyde de carbone (aussi appelé gaz carbonique, noté CO<sub>2</sub>) mis en œuvre au sein de l'union européenne dans le cadre de la ratification par l'UE du protocole de Kyōto. Cette bourse du carbone est un instrument fondé sur le marché visant à réduire l'émission globale de CO<sub>2</sub> et à atteindre les objectifs fixés pour l'union européenne au sein du protocole de Kyōto [25].

Donc ETS est un mécanisme de l'union européenne visant à réduire l'émission globale de CO<sub>2</sub> et atteindre les objectifs de l'union européenne dans le cadre de la directive 2003/101/CE.

##### **6.2.1.1 Applicabilité**

- Directive Européenne 2008/101/CE intégrant les activités aériennes dans le système communautaire d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre.

- Directive Européenne 2007 /589/CE définissant les lignes directrices pour la surveillance et la déclaration des émissions de gaz à effet de serre [26].

La réalisation du système EU-ETS selon ces deux directives est divisée en quatre phases :

- **première phase 2005-2007** : Il s'agissait d'établir un prix de carbone et les quotas nationaux uniquement pour émissions de CO<sub>2</sub> des groupes électrogènes et des industries énergivores.

-**deuxième phase 2008-2012** : l'inclusion de l'aviation civile tel que les compagnies aériennes quelles que soient leurs nationalités, devront obtenir des quotas pour couvrir les émissions produites par leurs avions desservant des aéroports européens.

-**troisième phase 2013-2020** : définir un plafond unique européen d'émissions à la place d'un plafond national et l'inclusion de plus de secteurs et de gaz.

-**quatrième phase 2021-2030** : l'augmentation du rythme des réductions annuelles des quotas à 2,2% à partir de 2021.

La directive européenne a été modifiée par STOP CLOCK, en 2012 par la décision 377/2013/UE.

L'UE ETS fonctionne sur la base d'un « plafond et échange », il existe donc un plafond ou une limite fixée pour les émissions totales de gaz à effet de serre autorisées par tous les participants couverts par le système et ce plafond est converti en quotas d'émission négociables [27].

Le système de quotas pour le secteur de l'aviation couvre l'ensemble des vols effectués par des aéronefs au départ et/ou l'arrivée d'aérodromes situés dans l'un des 27 états membres de l'union européenne. Ce périmètre de 27 états membres a été étendu à la Norvège, l'Islande et la Croatie pour qu'au total 30 pays soient couverts par ce système donc environ 5438 compagnies aériennes européennes et internationales jusqu'aujourd'hui [28].

Des quotas d'émission négociables sont attribués aux acteurs du marché ; dans l'UE ETS, cela se fait via un mélange d'allocations gratuites et d'enchères. Une allocation donne au titulaire le droit d'émettre 1 tonne de CO<sub>2</sub> (ou son équivalent). Les participants couverts par l'UE ETS doivent surveiller et déclarer leurs émissions chaque année et restituer suffisamment de quotas d'émission pour couvrir leurs émissions annuelles.

Les compagnies aériennes doivent déclarer leurs émissions annuelles, par des rapports qui sont accrédités par un vérificateur externe agréé, remettant ainsi un certificat d'assurance et qui sera transmis à la DGAC Française. Ensuite, les compagnies aériennes doivent compenser leurs émissions annuelles.

Les participants susceptibles d'émettre plus que leurs allocations ont le choix entre de prendre des mesures pour réduire leurs émissions ou acheter des quotas supplémentaires ; soit sur le marché secondaire, par exemple, les entreprises qui détiennent des quotas dont elles n'ont pas besoin soit sur les marchés publics organisés par les états membres [29].

L'échange de droits d'émission est justifié par le fait qu'il permet de réduire les émissions là où le coût de la réduction est le plus bas, réduisant ainsi le coût global de la lutte contre le changement climatique.

### 6.2.1.2. Méthode de suivi des émissions de CO<sub>2</sub>

La formule utilisée pour le calcul de CO<sub>2</sub> est bien standard pour les deux systèmes sauf le facteur d'émission :

$$\text{CO}_2 = \sum M_f * FCF_f$$

Tel que :

- CO<sub>2</sub> : Émissions de CO<sub>2</sub> (en tonnes) ;
- M<sub>f</sub> : Masse du carburant f utilisé (en tonnes) ;
- FCF<sub>f</sub> : Facteur de conversion du carburant f donné, égal à 3,15 (en kg de CO<sub>2</sub>/kg de carburant).

#### ➤ Méthodes de calcul de la consommation de carburant Méthode A

$$FN = TN - TN+1 + UN+1$$

- FN = Quantité de carburant consommé pour le vol envisagé (=vol N) déterminée par la Méthode A (en tonnes) ;
- TN = Quantité de carburant contenu dans les réservoirs de l'avion une fois embarquée pour le vol envisagé (vol N) (en tonnes) ;
- TN+1 = Quantité de carburant contenu dans les réservoirs de l'avion une fois embarquée pour le vol suivant (vol N+1) (en tonnes) ;
- UN+1 = Somme des quantités de carburant embarquées pour le vol suivant (vol N+1) mesurée en volume et multipliée par une valeur de densité (en tonnes).

#### Méthode B

$$FN = RN-1 - RN + UN$$

- FN = Carburant consommé pour le vol à l'étude (à savoir, vol N) déterminé par la Méthode B (en tonnes) ;
- RN-1 = Quantité de carburant restant dans les réservoirs de l'avion à la fin du vol précédent (c'est-à-dire, vol N-1) avec les cales en place avant le vol à l'étude, (en tonnes) ;
- RN = Quantité de carburant restant dans les réservoirs de l'avion à la fin du vol précédent (c'est-à-dire, vol N) avec les cales en place après le vol (en tonnes) ;
- UN = Quantité de carburant embarqué pour le vol à l'étude, mesurée en Volume et multipliée par une valeur de densité (en tonnes).

#### ➤ Outil estimation Small Emitters Tool (SET):

Le SET est un outil mis à la disposition des compagnies aériennes en vue de palier à leurs lacunes de données permettant d'estimer la consommation de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub> associées pour un vol entier compte tenu des caractéristiques du trafic aérien couvert par le système d'échange de quotas d'émission de l'UE (EU ETS).

Les modèles internes de consommation de carburant et d'émissions de type avion de SET sont construits sur une approche statistique basée sur des échantillons de consommation de carburant de vols réels. Le détail de son utilisation se trouve dans [30].

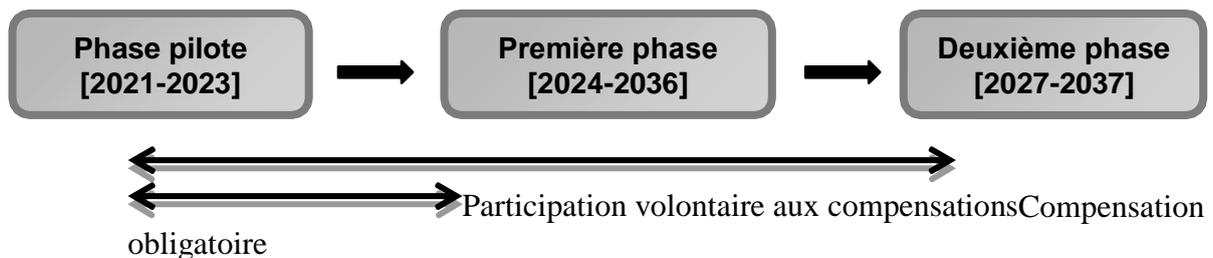
## 6.2.2 Processus CORSIA

En 2009, l'Association du transport aérien international (IATA) s'est fixé un objectif pour atteindre une croissance neutre en carbone à partir de 2020 et réduire en 2050 de 50% par rapport au niveau de 2005. Pour aider à atteindre ses objectifs de réduction des émissions, la 39<sup>e</sup> assemblée de l'OACI a approuvé une mesure basée sur le marché connue sous le nom de Régime de compensation et de réduction pour l'aviation internationale (CORSIA) en 2016.

CORSIA (acronyme de l'anglais Carbon Off setting and Reduction Scheme for International Aviation), est un régime mondial de mesures basées sur le marché destiné à compenser la fraction des émissions de CO<sub>2</sub> des vols internationaux excédant leur niveau de 2020. Il a été adopté le 6 octobre 2016 par la 39<sup>e</sup> assemblée de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) [31].

### 6.2.2.1 Applicabilité

Le régime couvre les vols internationaux sur des liaisons l'État / le pays d'origine et l'État de destination participant dans le système (avec des exemptions pour certains vols). CORSIA comporte trois étapes de mise en œuvre :



Sauf : Les vols au départ et à destination des pays les moins développés, des petits états insulaires en développement, des pays en développement sans littoral et des pays représentant moins de 0.5% de l'activité internationale qui sont comptés sauf s'ils se portent volontaires, les compagnies dont les émissions de CO<sub>2</sub> sont inférieures ou égales à 10 000 tonnes/an [32].

### 6.2.2.2. Méthode de suivi des émissions de CO<sub>2</sub>

La formule de calcul du CO<sub>2</sub> est la même que dans le système EU-ETS, ce qui change c'est le facteur de conversion du carburant F qui redevient égale à 3,16 (kg de CO<sub>2</sub>/kg de carburant).

$$\text{CO}_2 = \sum M_f * FCF_f$$

Tel que :

- CO<sub>2</sub> : Émissions de CO<sub>2</sub> (en tonnes) ;
- MF : Masse de carburant f utilisé (en tonnes) ;
- FCf : Facteur de conversion du carburant f donné, égal à 3,16 (en kg de CO<sub>2</sub>/kg de carburant).

### ➤ Méthodes de calcul de la consommation du carburant

Le système CORSIA a repris les deux méthodes proposées par le système EU-ETS et a rajouté trois nouvelles autres, les trois méthodes additives sont les suivantes :

#### Méthode C « Cale à cale » :

$$FN = TN - RN$$

- FN = Carburant consommé pour le vol à l'étude (à savoir, vol N) déterminé par la Méthode cale à cale (en tonnes) ;
- TN = Quantité de carburant contenu dans les réservoirs de l'avion à l'enlèvement des cales pour l'exécution du vol à l'étude (c'est-à-dire, vol N) (en tonnes) ;
- RN = Quantité de carburant restant dans les réservoirs de l'avion à la pose des cales après le vol à l'étude (c'est-à-dire vol N) (en tonnes).

#### Méthode D

$$FN = UN$$

- FN = Carburant consommé pour le vol à l'étude (c'est-à-dire, vol N) (en tonnes) ;
- UN = Carburant embarqué pour le vol à l'étude, mesuré en volume et multiplié par une valeur de densité (en tonnes).

#### Méthode E : Calcul de la consommation de carburant pour des vols individuels

$$FN = AFBR_{AO, AT} * BH_{AO, AT, N}$$

FN = Carburant consommé pour le vol à l'étude (c'est-à-dire le vol N) (en tonnes) ;

AFBR<sub>AO, AT</sub> = Taux moyen de consommation de carburant pour l'exploitant d'avions (AO) et le type d'avion (AT) (en tonnes par heure) ;

BH<sub>AO, AT, N</sub> = Temps cale à cale pour le vol international à l'étude (vol N) pour l'exploitant d'avions (AO) et le type d'avion (AT) (en heures).

Tel que :

$$AFBR_{AO, AT} =$$

$$\frac{\sum_n UAO_{AT, N}}{\sum_n BH_{AO, AT, N}}$$

$$\sum_n BH_{AO, AT, N}$$

AFBR<sub>AO, AT</sub> = Taux moyen de consommation de carburant pour l'exploitant d'avions (AO) et le type d'avion (AT) (en tonnes par heure) ;

UAO<sub>AT, N</sub> = Carburant embarqué pour le vol international N pour l'exploitant d'avions (AO) et le type d'avion (AT) ;

BH<sub>AO, AT, N</sub> = Temps cale à cale pour le vol international N pour l'exploitant d'avions (AO) et le type d'avion (AT) (en heure).

### ➤ Outil d'estimation CERT

L'outil OACI d'estimation et de déclaration du CO<sub>2</sub> CORSIA (CERT) aide les exploitants d'aéronefs à remplir leurs exigences de surveillance et de déclaration en remplissant les modèles normalisés de plan de surveillance des émissions et de rapport d'émissions.

Pour cela il a une double fonction, la première soit le comblement de données uniquement si la compagnie aérienne dépasse les 500 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an et la seconde est la déclaration des émissions de CO<sub>2</sub> si la compagnie aérienne émet moins ou égal que 500 000 tonnes de CO<sub>2</sub>. Son utilisation détaillée est dans [33].

**CHAPITRE 03**  
**Suivi des émissions de CO<sub>2</sub> :**  
**Cas d'Air Algérie**

## 1. Introduction

Le but de ce chapitre est d'étudier le cas des émissions de CO2 des avions d'Air Algérie. Dans un premier temps, nous allons présenter la compagnie Air Algérie ainsi que la cellule environnement chargée du suivi des émissions. Ensuite nous allons nous intéresser aux chiffres d'émissions de la compagnie, définir l'attribution et les missions de la cellule environnement, et expliquer le protocole adopté par Air Algérie, qui est basé sur un logiciel interne dit SUDO-VOL, ainsi que son fonctionnement. Enfin nous allons exécuter le cas des émissions du vol Alger-Orly durant le premier semestre de 2019.

## 2. Présentation de l'entreprise

Air Algérie est la compagnie aérienne nationale algérienne. Créée en 1947, quand fut constituée la Compagnie Générale de Transport (C.G.T.), dont le réseau était principalement orienté vers la France. Le réseau international est de quarante-cinq villes desservies dans trente pays en Europe, Moyen Orient, Asie, Afrique et Amérique, adossé à un réseau intérieur reliant 30 villes. Elle est membre de l'association internationale du transport aérien, de l'Arab Air Carriers Organisation et de l'Association des Compagnies Aériennes Africaines. Air Algérie est une société par actions au capital de 43 milliards de dinars algériens (environ 403,4 millions d'euros) détenue à 100 % par l'état algérien. [34]

Le tableau 3.1 représente un descriptif de la compagnie Air Algérie. [35]

Denomination	Air Algérie
Code IATA	AH
Code OACI	DAH
Logo	
Forme juridique	EPE/ SPA
Siege social	1, place Morice Audin 16000-Alger
Effectif	9565
Nombre de destination	75
Nombre d'avion et leurs types	59 avions
Site web	<a href="http://www.airalgerie.dz">www.airalgerie.dz</a>

**Tableau 3.1 : Présentation d'Air Algérie**

## 3. Présentation de la cellule environnement

En 2010 et afin de répondre aux exigences réglementaires internationales de la directive 2008/101/CE, Air Algérie a créé la cellule environnement qui se définit comme une filiale de la Direction des Opérations Aériennes.

Les missions et les attributions détaillées de la cellule environnement se trouvent dans l'annexe 3.

#### 4. Les émissions de CO2 d'Air Algérie

Comme tout opérateur aérien, Air Algérie est considéré comme source d'émission du CO2. La compagnie étant classée la première au niveau national en vue de sa flotte, connaît une augmentation de nombre de vols et de destinations au fil des années. Ceci ne peut pas passer inaperçu car aussi cette dernière enregistre également un taux d'émissions de CO2 de plus en plus élevé, une situation qui peut jouer sur sa politique future selon les exigences de rejets de ce gaz dans l'air.

Le tableau 3.2 illustre l'évolution des émissions CO2 de la compagnie Air Algérie au niveau national et international de l'année 2011 jusqu'à 2018 :

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>National (tonne)</b>	151 968	146 025	144 796	144 369	157 870	178 340	175 452	192 170
<b>International (tonne)</b>	618 248	690 355	757 229	870 269	854 854	911 163	922 898	956 048

**Tableau 3.3 : Evolution des émissions de CO2 d'Air Algérie par les aéronefs Entre 2011-2018**

Le tableau 3.2 montre que les émissions de CO2 de la compagnie Air Algérie issues des aéronefs utilisés sont importantes et croissantes de l'année 2011 à 2018.

Nous remarquons que les émissions de CO2 au niveau national sont relativement faibles par rapport à la moyenne tel que la valeur maximale d'émission à l'échelle nationale est de 192170 tonnes or qu'à l'échelle internationale est de 956048 tonnes. La croissance de taux d'émissions peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment l'élévation de nombres de vols par le nombre de voyageurs chaque année, l'association de plus de destinations de vols par rapports aux années précédentes etc.

#### 5. Suivi des émissions CO2 par la cellule environnement

La programmation, le suivi et la réalisation des vols à Air Algérie en termes de flotte et d'équipage se fait à travers le système AIMS (Airlines Information Management Système) géré par la Direction des programmes.

La liste des vols générée par le système AIMS constitue la référence du système SUDOVOL.

##### 5.1. Présentation du système SUDOVOL

Le SUDOVOL est un système d'information interne à Air Algérie de suivi du dossier de vol qui répond aux exigences de :

-la directive Européenne 2008/101/CE,

-la Décision 377/2013/UE,

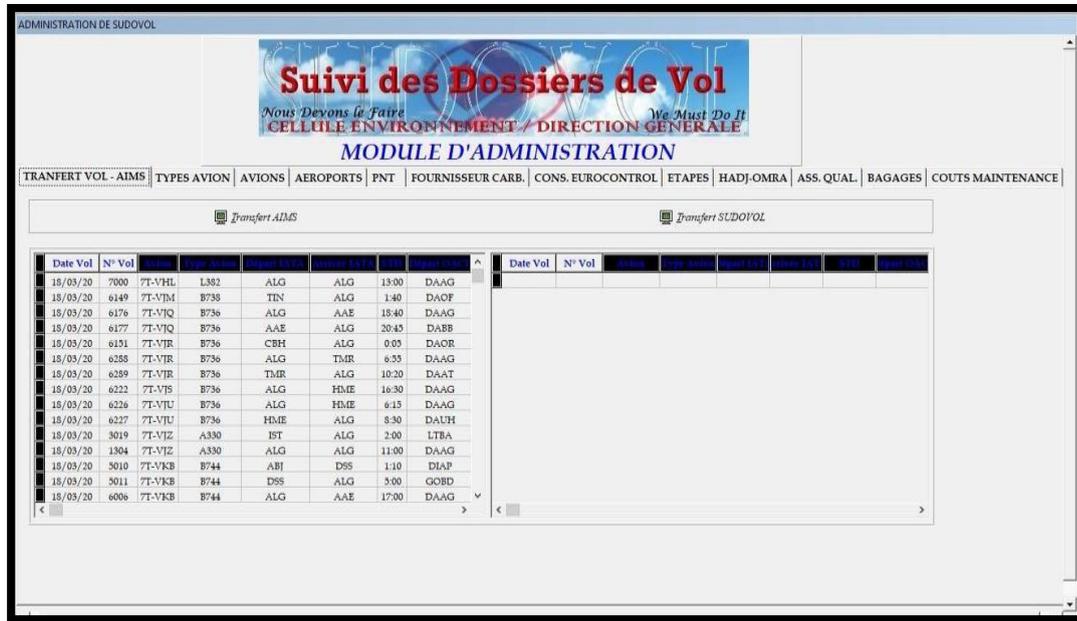
-l'Annexe 16 Volume IV CORSIA. Il est doté de différents contrôles automatiques pour minimiser au maximum les risques d'erreurs.

SUDOVOL est développé en interne avec une base de données SQL SERVER qui permet de mettre à jour, traiter, consulter et sauvegarder toutes les données relatives à la consommation du carburant et des émissions de CO2 pour chaque vol.

Il est doté de plusieurs Modules facilitant les contrôles de la cohérence des données traitées.

## 5.2. Contrôle et vérification des vols

Les agents du support informatique de la cellule environnement sont chargés du transfert quotidien et automatique de la liste des vols réalisés du système AIMS vers SUDOVOL et ce, en utilisant le Module Administration comme il est représenté dans la figure 3.2.



**Figure 3.2 : vérification des vols dans le module administration.**

Tous les vols introduits dans le SUDOVOL à partir de l'AIMS sont complétés par les différents documents récupérés après la réalisation de ces vols à partir des dossiers de vol, à savoir :

- La loadsheet ou à défaut le load message LDM.
- Le bon de livraison du fuel si un enlèvement a été réalisé.
- Aircraft Technical Log ou le Fuel Record Log.
- Le plan de vol technique.

Si un vol a échappé aux contrôles au niveau du système AIMS, il sera détecté lors de l'exploitation des documents suscités dont le renseignement s'effectue avant, lors et à la fin du vol.

Tout agent de la Cellule Environnement qui détecte, au cours de la saisie ou du contrôle, des anomalies provenant du Système AIMS (rotation manquante, données erronées relatives aux aéroports de départ/destination ou à l'immatriculation de l'appareil), notifiera et transmettra ces anomalies à la direction des programmes pour les mettre à jour au niveau de l'AIMS.

## 5.3. Saisie des données de vol dans le système SUDOVOL

Quotidiennement, les dossiers de vol sont récupérés par la Cellule Environnement pour la numérisation et la saisie des informations nécessaires contenues dans tous les documents cités dans le plan de surveillance et ceci via le module saisi du système de suivi des dossiers de vol SUDOVOL.

L'introduction des informations se fait par des données collectées à partir des documents de vol qui se résume en trois parties, à savoir :

ATL (Aircraft Technical Log) est utilisé pour la détermination des quantités de carburant dans les réservoirs pour chaque vol (document qui concerne la flotte d'Air Algérie et renseigné par le personnel navigant Technique).

FRL (Fuel Record Log) : est utilisé pour la détermination des quantités de carburant dans les réservoirs pour chaque vol (document qui concerne la flotte Affrétée et renseigné par le personnel navigant Technique).

BLF (Bon de Livraison du Fuel) : est utilisé pour la détermination des quantités enlevées du carburant pour chaque vol (document renseigné par le fournisseur et remis au personnel navigant technique).

En raison de la confidentialité de ces données, le SUDOVOL met en sécurité son utilisation par un pseudo et un mot de passe personnel pour chaque utilisateur ainsi qu'enregistrer toute action de connexion au système.

La figure 3.3 représente la saisie des données du vol cités ci-dessus dans le système SUDOVOL

Date Vol	N° Vol	Avion	Dep. IATA	Arr. IATA	STD	Dep. OACI	Arr. OACI	S135	Fournisseur	Qte Enlevée	Unité	Densité	Qte Fuel
01/01/2019	1231	ZT-VKE	CDG	ALG	8:15	LFPG	DAAG	S135	SHELL	50.98	H	0.8	4.8
01/01/2019	1008	ZT-VKE	ALG	ORY	17:35	DAAG	LFPO	1683115	NAFT	76	H	0.79	3.7

Figure 3.3 : Saisie de données de vol dans le système SUDOVOL.

Selon la figure 3.3, nous remarquons que l'écran de saisie est composé de plusieurs parties.

La première est dédiée au choix de la période et de l'avion, la deuxième c'est pour l'identification du vol comme le type d'avion, l'immatriculation etc. La troisième est composée des boutons de gestion de la base de données ainsi que celui de la fermeture de module de la saisie. La quatrième partie est réservée pour la saisie des données à partir de l'ATL et FRL et la cinquième partie est pour les données de BLF. L'avant dernière partie définit la liste des vols et enfin la partie observations pour communiquer des anomalies entre les différents utilisateurs de SUDOVOL.

Partie ATL-FRL/BLF :

1. **ATL-FRL** : Les données relatives à la consommation du carburant pour la flotte AH et les affrétés, sont saisies dans la première partie du module saisie du système SUDOVOL à savoir :

- ✓ Les temps de vols ;
- ✓ Les quantités de carburant :
  - A : Quantité dans les réservoirs à la fin de l'étape précédente.
  - B : Quantité de carburant refueling ou defueling en volume (selon le bond'enlèvement) ainsi que le n° du bon.
  - C : Quantité totale du carburant au départ.
  - D : Quantité consommée
  - A' : Quantité dans les réservoirs à la fin du vol.

2. **BLF** : les données relatives aux enlèvements du carburant sont saisies dans la partieBLF du module saisi du système SUDOVOL à savoir :

- ✓ Numéro du Bon ;
- ✓ Le fournisseur du carburant ;
- ✓ Le nombre de BLF du vol en question ;
- ✓ La ou les quantités du carburant enlevées ;
- ✓ La ou les densités du carburant ;
- ✓ L'unité.

Dans le cas de plusieurs BLF un calcul automatique se fait au niveau du SUDOVOL selon lesformules suivantes :

- ❖ La quantité enlevée (Hectolitre) ou (Galon) =  $Q1 + Q2 + Q3 + Q4$  en choisissant lamême unité pour les quatre valeurs.
- ❖ Quantité enlevée en litre = quantité enlevée \* 100 si l'unité est en 'hectolitre'.  
= quantité enlevée \* 3.785 si l'unité est en 'galon'.
- ❖ Quantité enlevée en tonne = (quantité enlevée \* densité) / 10 si l'unité est en 'HL'.  
= (quantité enlevée\*3.785\*densité)/1000 si l'unité est en 'G'.

Ces données sont enregistrées au niveau de la base de données de SUDOVOL.

#### **5.4. Contrôle des données de vol dans le système SUDOVOL**

Dès réception des dossiers de vol par la Cellule Environnement, tous les documents ATL, FRL et BLF sont systématiquement numérisés suivant la procédure de numérisation des enregistrements référencée PR01/ENV/DG.

Par la suite, une équipe de contrôleurs est chargée de procéder à un contrôle de données saisies via des modules de contrôles spécifiques en comparant ces données avec celles mentionnées sur les documents sources.

Cette équipe est responsable de détecter et de corriger les éventuelles erreurs de données et/ou de saisie qui pourraient survenir lors de l'introduction dans la base de données SUDOVOL, et ceci pour les différents documents ATL, FRL et BLF.

### 5.4.1. Contrôle de l'ATL :

Les contrôleurs s’assurent que toutes les informations saisies correspondent à celles mentionnées sur les ATL, particulièrement, celles relatives à l’identification du vol ainsi que les quantités du carburant.

A travers ce module, les contrôleurs s’assurent que la rotation de l’avion transférée à partir du Système AIMS correspond bien avec celle mentionnée sur les ATL. Il s’agit en réalité d’effectuer un cross-check quotidien par vol entre deux bases de données parallèles AIMS et ATL.

Ce contrôle permet d’une part de s’assurer de l’exhaustivité et de la réalité des Vols réalisés et d’autre part, de s’assurer qu’aucun document ATL n’a été perdu ou raté.

Lors du contrôle, les numéros de l'ATL-FRL ainsi que les quantités de carburant doivent suivre.

La figure 3.4 représente l’écran de contrôle de l’ATL.

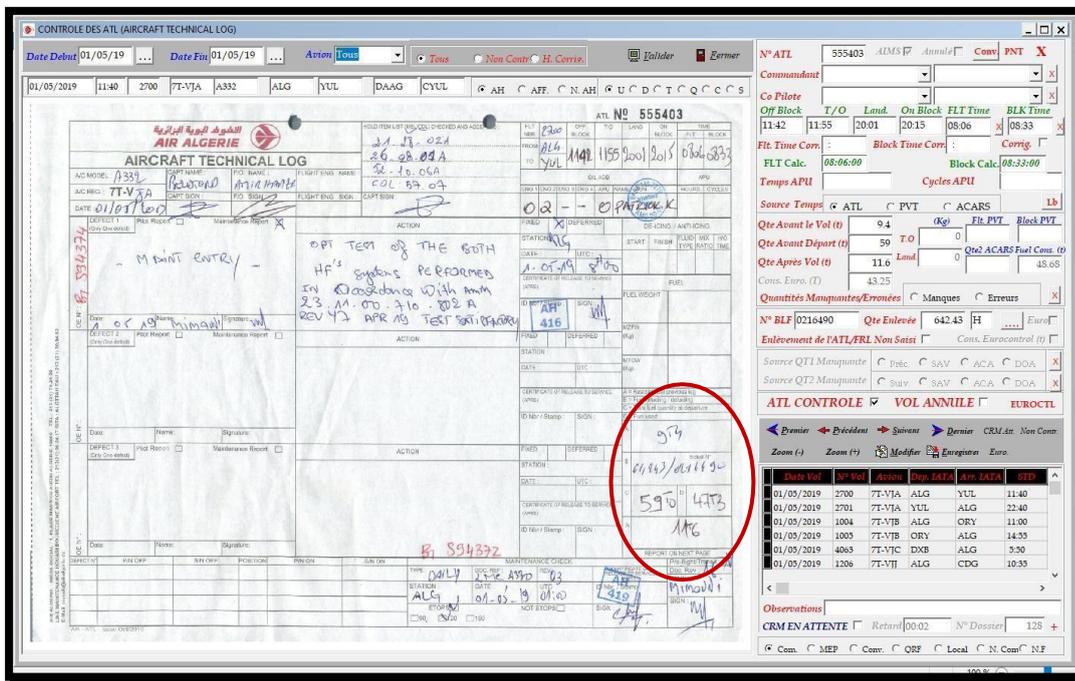


Figure 3.4 : Contrôle de l’ATL

Sur l’écran nous observons cinq cases d’informations différentes :

- ✓ A : Quantité dans les Réservoirs à la Fin de l’Etape Précédente.
- ✓ B : Quantité de Carburant Refueling ou Defueling en Volume (selon Bon d’Enlèvement) ainsi que le N° du Bon.
- ✓ C : Quantité Totale du carburant au Départ.
- ✓ D : Quantité du carburant Consommée.
- ✓ A’ : Quantité dans les Réservoirs à la Fin du Vol.

En cas d’anomalie ou de manque de quantités du carburant sur les documents ATL-FRL, d’autres sources de données sont utilisées pour palier à cette anomalie selon l’ordre suivant :

- Système d’analyse automatique des vols (AGS : Analyses Ground System de SAGEM)
- Système ACARS (HERMES de HONEYWELL) pour les Airbus A330 et les

Boeing737 NG.

- Calculateur d'EUROCONTROL pour les vols sujets à EU-ETS et CO2 Estimation and Reporting Tool 'CERT' pour les vols sujets à CORSIA
- Tout manque et/ou anomalie d'Information relative à la consommation du Carburant sont systématiquement détectés à travers les Modules de Contrôle de SUDOVOL.

### 5.4.2. Contrôle du BLF :

A travers ce Module, les contrôleurs s'assurent que toutes les informations saisies correspondent bien à celles mentionnées sur les BLF, particulièrement, celles relatives à l'identification du vol ainsi que les quantités enlevées, les unités de mesure et la densité.

Ils vérifient également, les numéros des BLF ainsi que les quantités des enlèvements mentionnées par le Personnel Navigant Technique sur les ATL ou FRL.

Les erreurs de saisies sont directement corrigées dans la base de données SUDOVOL. La figure 3.5 représente l'écran de contrôle BLF.

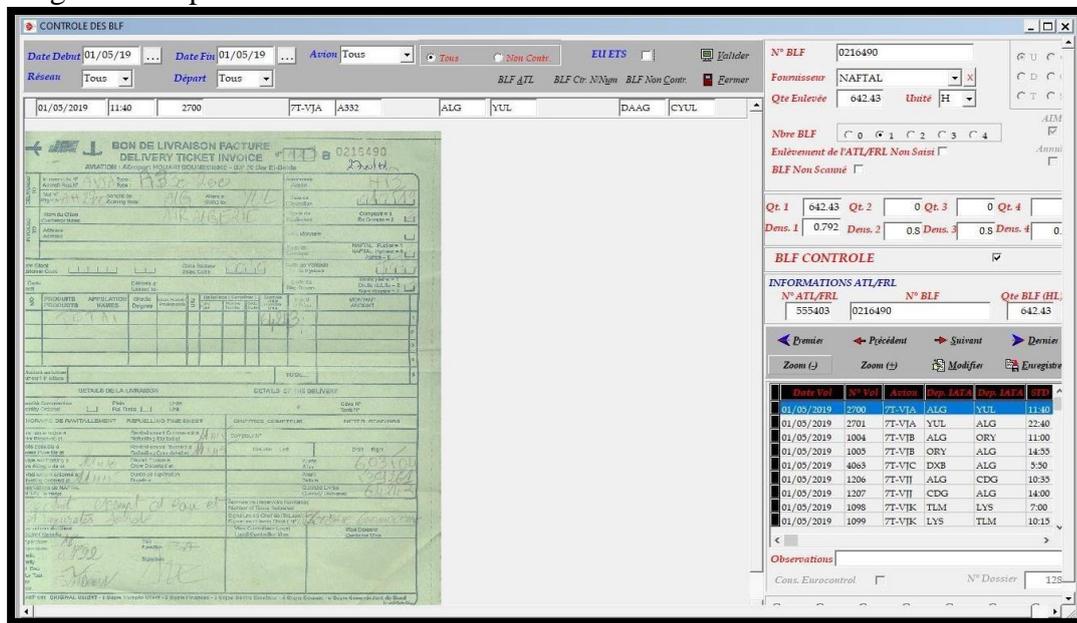


Figure 3.5 : Contrôle de BLF

### 5.5. Densité du carburant utilisé

Le Jet A1 est le seul type de carburant utilisé pour exécuter les vols d'Air Algérie.

Pour le Carburant enlevé, la densité est prise directement du bon de livraison fuel (BLF) fournie par l'avitailleur au niveau des escales desservies par Air Algérie.

Si cette valeur pour une raison ou une autre, n'est pas fournie par l'avitailleur, la valeur standard de 0,8 est prise par défaut.

La Cellule Environnement est chargée de vérifier et de saisir cette valeur de densité dans le système SUDOVOL.

Les instruments de mesure des types d'avions exploités font automatiquement la conversion du volume en masse en utilisant un densitomètre entretenu selon les Procédures de maintenance approuvées en vigueur (soit pour les avions d'air Algérie ou ceux affrétés).

## 5.6. Calcul de la consommation du carburant

Une fois les documents contrôlés sur ces différents modules, les informations vérifiées sont automatiquement verrouillées dans le module de saisie de SUDOVOL et n'accepteront plus aucune modification.

Ces contrôles sont effectués pour tous les vols d'Air Algérie pour le réseau national et international. Air Algérie et pour tous ses vols sans exception, utilise la méthode B pour le calcul de la consommation du carburant.

Vu qu'Air Algérie est soumise à deux systèmes : l'EU-ETS et le CORSIA, la quantité de carburant consommée pour chaque vol réalisé est calculé automatiquement dans le système SUDOVOL conformément à la méthode B citée par les deux systèmes.

**Méthode B :**

$$FN = RN-1 - RN + UN$$

Consommation réelle de carburant pour chaque vol (tonnes) = quantité de carburant restant dans les réservoirs de l'aéronef à l'arrivée bloc à la fin du vol précédent (tonnes) + carburant embarqué pour le vol (tonnes) – quantité de carburant contenue dans les réservoirs à l'arrivée bloc à la fin du vol (tonnes).

## 5.7. Calcul des émissions de CO2

Les deux formules de calculs des émissions de CO2 sont présentées par type de système :

### Selon le système EU-ETS

Quantité de CO2 (tonne) = consommation du carburant (tonne)\* 3,15.

### Selon le système CORSIA

Quantité de CO2 (tonne) = consommation du carburant (tonne)\* 3,16.

## 6. Suivi des émissions CO2 d'Air Algérie : série de vols Alger-Orly

Dans cette partie, il sera question de présenter de manière exhaustive le suivi des émissions de CO2 du vol Alger-Orly durant le premier semestre de 2019 en appliquant la réglementation de EU-ETS et CORSIA afin de détailler et d'étudier les émissions.

Le vol Alger-Orly du 01/01/2019 est pris comme exemple d'un calcul détaillé. Le tableau 3.3 regroupe les informations du vol détaillé :

Départ	Alger (ALG)
Arrivé	Orly (ORY)
Date	01/01/2019
Numéro de vol	1008
Type d'avion	B738 (7T-VKE)
Quantité de BLF	76 HL
Numéro de BLF	1683115
Quantité avant le vol	3,7 tonnes
Quantité après le vol	3,8 tonnes
Densité	0,79

**Tableau 3.3 : Informations du vol Alger-Orly du 01/01/2019**

Nous allons procéder au suivi des émissions de vol Alger-Orly par étape.

### **6.1. Première étape : Récupération des documents nécessaires du vol**

Les deux documents contenant l'ensemble des informations souhaitées pour le calcul de la consommation du carburant sont l'ATL et le BLF.

Figure 3.6 représente le document d'ATL du vol Alger-Orly du 01/01/2019.

**AIRCRAFT TECHNICAL LOG**

ATL N° 534022

HOLD ITEM LIST (E, S, D, L, C, K, P, O, I, A, B, G, H, J, M, N, Q, R, T, U, V, W, X, Y, Z): 33-20

FLY NBR: 1008 OFF BLOCK: T/O: LAND: ON BLOCK: TIME: FLT: BLOCK:

FROM: ALG TO: ORY 1740 1748 1932 2001 2054 0224

OIL ADD: APU:

ENG 1 ENG 2 ENG 3 ENG 4 APU NAME / SIGN: HOURS CYCLES

A/C MODEL: B737-800 CAPT NAME: SAF FIC NAME: ANKCHICHE FLIGHT ENG NAME:

A/C REG: 7T-VKE CAPT SIGN: FIC SIGN: FLIGHT ENG SIGN: CAPT SIGN:

DATE: 01.01.19

DEFECT 1 (Only One defect): Pilot Report  Maintenance Report  ACTION: FIXED  DEFERRED  DE-ICING / ANTI-ICING

ELEC light after landing

Performed Procedure IAW Fin 24-31 Task 801 Rev 57

STATION: ORY DATE: 01/01/19 UTC: 2045

CERTIFICATE OF RELEASE TO SERVICE (APRS) SIGN: HAMBOUCHE

FUEL WEIGHT: 9500

MZFW (kg): 61688

MTOW (kg):

CERTIFICATE OF RELEASE TO SERVICE (APRS) A = Residual fuel B = Fuel remaining / defueling C = Total fuel quantity at departure D = Fuel used

ID Nbr / Stamp: SIGN: 377

STATION: 7600/1683115

DATE: UTC:

CERTIFICATE OF RELEASE TO SERVICE (APRS) SIGN: 915 577

ID Nbr / Stamp: SIGN: 378

REPORT ON NEXT PAGE

DEFECT 2 (Only One defect): Pilot Report  Maintenance Report  ACTION: FIXED  DEFERRED  DE-ICING / ANTI-ICING

DEFECT 3 (Only One defect): Pilot Report  Maintenance Report  ACTION: FIXED  DEFERRED  DE-ICING / ANTI-ICING

MAINTENANCE CHECK

TYPE: DOC. REF: REV: CERTIFICATE OF RELEASE TO SERVICE (APRS) NAME: BOUTICHC SIGN: Buo

ETOPS  NOT ETOPS  SIGN:

ETOPS:  90  120  180

Pre-flight/Transit Doc. Rev. 12

AH - ATL - Issue Oct/2010

Figure 3.6 : Présentation du document ATL du vol 01/01/2019.

Sur le document ATL, nous observons :

- A partir de la case A : la quantité de carburant restant dans le réservoir du vol précédent est égale à 3,7 tonnes.
- A partir de la case B : Quantité de Carburant Refueling en Volume et le numéro de BLF sont égales à 7600 / 1683115.
- A partir de la case C : la quantité totale du carburant au départ est égale à 9,5 tonnes.
- A partir de la case D : la quantité du carburant consommée est égale à 5,7 tonnes.
- A partir de la case A' : la quantité du carburant dans les réservoirs à la fin du vol est égale 3,8 tonnes.



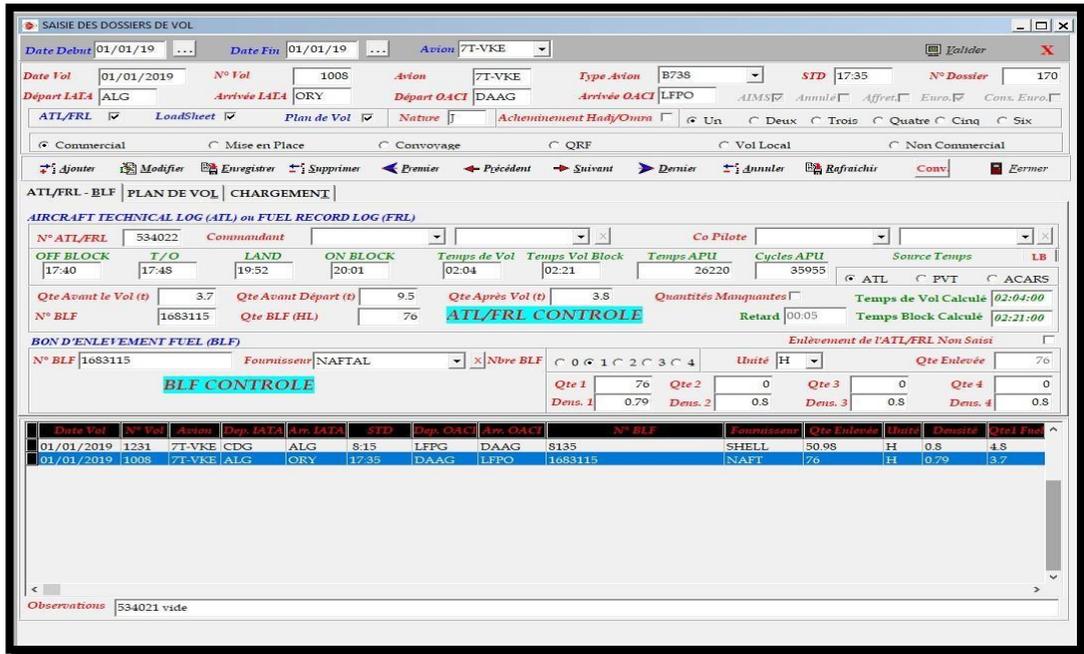


Figure 3.8 : Saisi des données de vol Alger-Orly.

### 6.3. Troisième étape : Contrôle des informations du vol

Après la saisie des données de vol depuis l'ATL, nous effectuons le contrôle des informations saisies depuis le SUDOVOL.

En plus de la vérification de l'exactitude du numéro d'ATL, numéro de vol, l'horaire et la destination de vol, le contrôle de l'ATL se fait par la comparaison entre si :

-La quantité de carburant restante du vol précédent Alger-CDG est égale à la quantité de carburant au début de notre vol Alger-Orly.

-La quantité de carburant restante à la fin du vol Alger-Orly est égale à la quantité qui au début du vol suivant Orly-Alger.

La figure 3.9 représente le document ATL du vol précédent Alger-CDG.

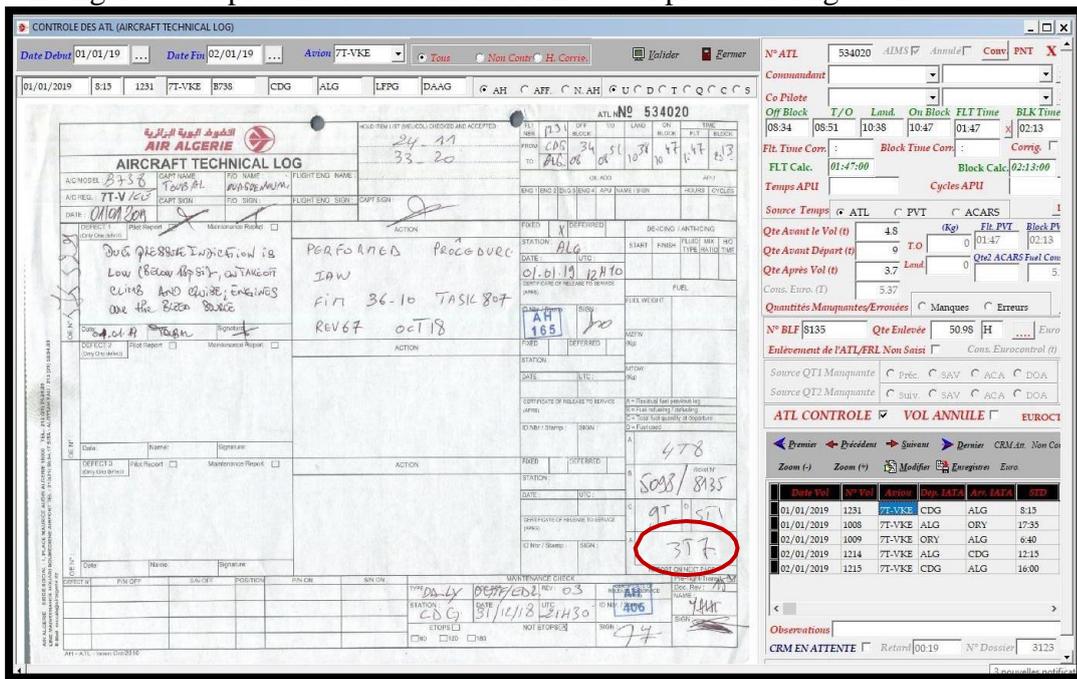


Figure 3.9 : ATL du vol précédent Alger-CDG.

La figure 3.10 représente le document du vol d'étude Alger-Orly.

**Figure 3.10 : ATL du vol d'étude Alger-Orly depuis le SUDOVOL.**

La figure 3.11 représente le document du vol suivant Orly-Alger.

**Figure 3.11 : ATL du vol suivant Orly-Alger.**

Nous constatons que les informations de vol : numéro de vol, numéro de l'ATL, la destination et l'horaire du vol sont identiques sur le document ATL que sur le module de saisie du SUDOVOL.

Nous notons que le vol de CDG a fini avec une quantité de carburant égale à 3,7 tonnes. Cette quantité est égale à celle de début de vol Alger-Orly c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'erreur d'enregistrement de données. A la fin du vol Alger-Orly il est resté 3,8 tonnes de carburant dans le réservoir d'avion, cette quantité est la même avec laquelle a débuté le vol Orly-Alger. De là, nous pouvons juger que le contrôle de l'ATL a été bien effectué.

Nous passons ensuite au contrôle des informations de BLF en comparant les informations remplies manuellement et celles saisies automatiquement.

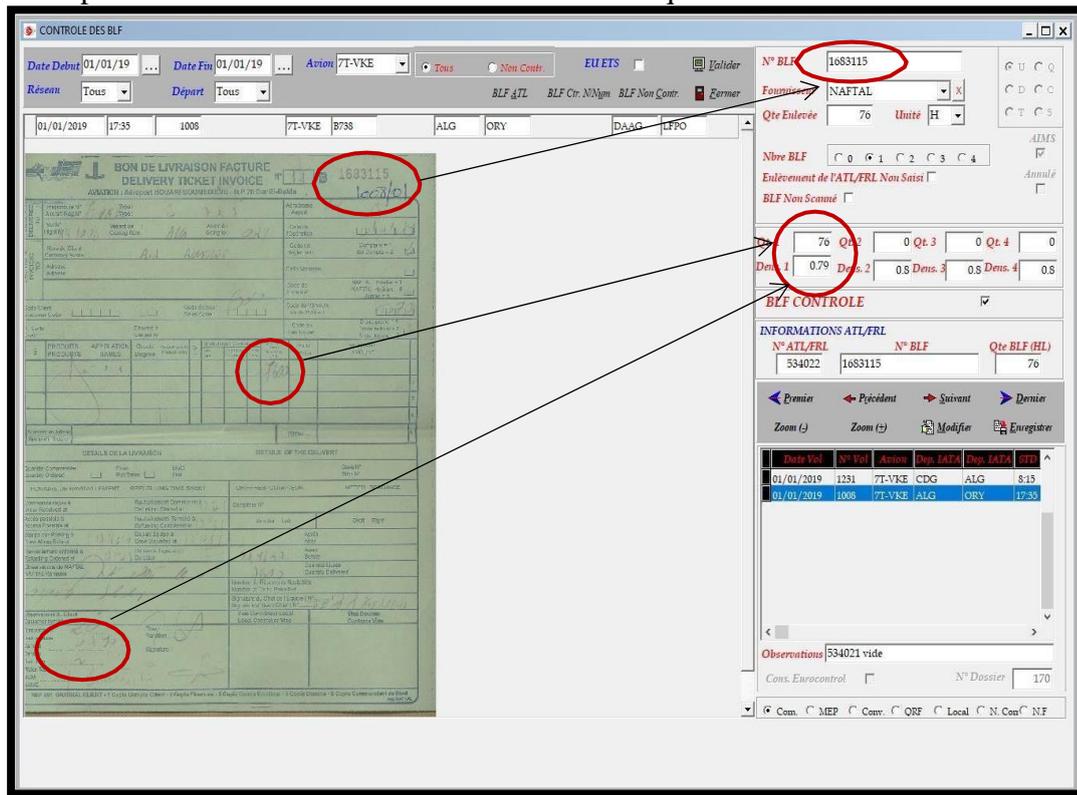


Figure 3.12 : Contrôle des données de BLF du vol Alger-Orly.

Nous remarquons que le numéro de vol, le numéro de BLF, la quantité de CRM et la densité de carburant sont saisis sans fautes dans le SUDOVOL.

#### 6.4. Quatrième étape : Calcul de la consommation de carburant

Après vérification de l'exactitude des données du vol ALG-ORY du 01-01-2019 nous pouvons à présent appliquer les étapes de calcul de la consommation de carburant par méthodes B de CORSIA et ETS pour pouvoir les comparer avec la quantité générée par le SUDOVOL.

Air Algérie est soumise au calcul de ses émissions par les deux systèmes EU-ETS et CORSIA jusqu'à aujourd'hui, et pour cette raison nous avons procédé au calcul des émissions du vol Alger-Orly par méthode de chaque système.

En effet la différence entre les deux formules se réside dans le facteur d'émission, tel que dans le système EU-ETS il est égale à 3,15 et dans le système CORSIA il est égale à 3,16.

Nous avons appliqué la méthode de calcul de la consommation de carburant « B » citée dans les systèmes EU-ETS et CORSIA décrite similairement.

**1. Conversion de la quantité enlevée :****En litre :**

Quantité enlevée (litre) = 76 \* 100  
Quantité enlevée (litre) = 7600 litres.

**En tonne :**

Quantité enlevée (tonne) = (76 \* 0,79) / 10  
Quantité enlevée (tonne) = 6,004 tonnes

**2. Calcul de la quantité consommée :**

Quantité consommée (tonne) = (3,7 + 6,004)  
– 3,8  
Quantité consommée (tonne) = 5,904 tonnes.

**6.5. Cinquième étape : Calcul des émissions de CO2****1. Calcul de la quantité de CO2 selon EU-ETS :**

Quantité de CO2 (tonne) = 5,904 \*  
3,15  
Quantité de CO2 (tonne) =  
18,5976 tonnes.

**2. Calcul de la quantité de CO2 selon CORSIA :**

Quantité de CO2 (tonne) = 5,904 \*  
3,16  
Quantité de CO2 (tonne) =  
18,6566 tonnes.

Air Algérie a bien appliqué la réglementation internationale de calcul de la consommation de carburant et le calcul des émissions, car la méthode B qu'elle utilise concorde bien avec les deux systèmes en même temps et contient les données disponibles à la compagnie pour le calcul.

Nous avons présenté un exemple pour le suivi détaillé des émissions de CO2 que la compagnie applique sur tous ses vols sans exception, et nous donnons le reste des résultats de calcul dans l'annexe 1.

**CHAPITRE 04**  
**RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## 1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons exploiter une partie des résultats de calcul des émissions de CO<sub>2</sub> et cela pour les deux types d'avions Boeing et Airbus afin de pouvoir les comparer. Ensuite nous allons faire une étude statistique descriptive visant à évaluer les résultats obtenus. Par ailleurs, nous allons étudier les paramètres influençant les émissions en allant de l'influence du type de moteurs d'avions vers l'influence de la consommation de carburant sur les émissions de CO<sub>2</sub>. Et dans ce qui s'en suit, l'influence des paramètres agissant sur la combustion, l'influence du type de carburant et sa densité. A la fin de ce chapitre, nous exposons les démarches prises par Air Algérie pour l'atténuation de ses émissions de CO<sub>2</sub> et nous tentons de faire des propositions en vue de les enrichir et contribuer éventuellement à améliorer la diminution de ces derniers.

## 2. Résultats de calcul des émissions de CO<sub>2</sub>

Les tableaux 4.1 et 4.2 récapitulent une partie des résultats obtenus de calcul des quantités de CO<sub>2</sub> du vol Alger-Orly durant le premier semestre 2019, pour les vols effectués par des Boeing B737-800 et des Airbus A330-202, selon la méthode B décrite dans le chapitre précédent, le reste des résultats se trouve dans l'annexe N° 01.

FLT_DATE	AC_TYP E	BPT	OPT	N_BLF	QT_BL F	UNITE	DENS	QT_EN_ L	QT_EN_ T	QT1_CR M	QT2_CR M	QT_CON S	QT_CO2
01/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1683115	76	H	0,79	7600	6,004	3,7	3,8	5,904	18,6566
01/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684049	89,5	H	0,798	8950	7,1421	4,9	6	6,0421	19,093
02/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1683480	110,32	H	0,79	11032	8,7153	4	6,8	5,9153	18,6923
02/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1683478	86,35	H	0,795	8635	6,8648	4,8	5,5	6,1648	19,4808
03/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684045	74,54	H	0,793	7454	5,911	4,7	4,5	6,111	19,3108
03/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1683240	50,96	H	0,798	5096	4,0666	5,9	3,8	6,1666	19,4865
03/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY		0	H	0,8	0	0	11,7	5,4	6,3	19,908
04/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1683713	59,47	H	0,793	5947	4,716	5,7	4,2	6,216	19,6426
04/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1683941	90,77	H	0,794	9077	7,2071	3,7	5	5,9071	18,6664
04/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1683954	60	H	0,792	6000	4,752	5,3	3,8	6,252	19,7563
05/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684088	74,85	H	0,798	7485	5,973	4,5	4,3	6,173	19,5067
05/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1683043	77,81	H	0,794	7781	6,1781	4,3	4,5	5,9781	18,8908
05/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1683122	69,6	H	0,794	6960	5,5262	4,5	4,6	5,4262	17,1468
06/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	0195036	75,36	H	0,8	7536	6,0288	4,1	4,1	6,0288	19,051
06/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684214	86,6	H	0,79	8660	6,8414	3,6	4,5	5,9414	18,7748

06/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684733	69,2	H	0,79	6920	5,4668	5	4,9	5,5668	17,5911
07/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684029	74,08	H	0,798	7408	5,9116	4,3	4	6,2116	19,6287
07/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684008	21,05	H	0,796	2105	1,6756	7,9	3,8	5,7756	18,2509
07/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684396	80,51	H	0,794	8051	6,3925	3,6	4,1	5,8925	18,6203
08/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684431	65	H	0,798	6500	5,187	4,9	3,7	6,387	20,1829
08/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1683967	67,35	H	0,798	6735	5,3745	4,6	4	5,9745	18,8794
09/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684232	85,92	H	0,798	8592	6,8564	4,2	4,1	6,9564	21,9822
09/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684852	81,9	H	0,795	8190	6,5111	4,1	4,2	6,4111	20,2591
10/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY		0	H	0,8	0	0	10,2	3,8	6,4	20,224
10/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684634	86,4	H	0,795	8640	6,8688	3,84	4,6	6,1088	19,3038
10/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684621	76,5	H	0,794	7650	6,0741	3,9	4,1	5,8741	18,5622
11/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684841	69,95	H	0,8	6995	5,596	4,8	3,9	6,496	20,5274
11/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684708	87,51	H	0,798	8751	6,9833	4,05	5	6,0333	19,0652
20/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1685719	77,94	H	0,796	7794	6,204	3,8	4,4	5,604	17,7086

**Tableau 4.1: Résultats de calcul des émissions de CO2 par Boeing B737-800.**

FLT_DATE	AC_TYPE	BPT	OPT	N_BLF	QT_BL F	UNITE	DENS	QT_EN_ L	QT_EN_ T	QT1_CRM	QT2_CRM	QT_CONS	QT_CO2
17/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1685187	144,55	H	0,795	14455	11,4917	9,64	9,68	11,4517	36,1874
18/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1685380	152,06	H	0,797	15206	12,1192	8,5	8,8	11,8192	37,3487
19/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1685386	286,25	H	0,798	28625	22,8428	8,8	18,3	13,3428	42,1632
20/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1685143	130,08	H	0,795	13008	10,3414	10	9,1	11,2414	35,5228
21/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1685010	302,9	H	0,802	30290	24,2926	8	19,2	13,0926	41,3726
22/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1685391	298,69	H	0,798	29869	23,8355	9	20,7	12,1355	38,3482
23/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1685396	151,32	H	0,798	15132	12,0753	9,4	8,3	13,1753	41,6339
24/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1688280	289,12	H	0,791	28912	22,8694	8,7	18,7	12,8694	40,6673
25/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1685753	253,33	H	0,798	25333	20,2157	10,62	17,14	13,6957	43,2784
26/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1685400	131,68	H	0,795	13168	10,4686	10,2	8,8	11,8686	37,5048
27/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1685404	180,04	H	0,796	18004	14,3312	8,8	11,7	11,4312	36,1226
28/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1686899	145,48	H	0,795	14548	11,5657	8,1	8,2	11,4657	36,2316

29/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1686685	299,8	H	0,794	29980	23,8041	7	18,1	12,7041	40,145
30/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1686601	154,03	H	0,799	15403	12,307	9,5	10,8	11,007	34,7821
31/01/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1686878	133,25	H	0,796	13325	10,6067	10,8	9,04	12,3667	39,0788
01/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1686307	119,74	H	0,796	11974	9,5313	9,26	8,3	10,4913	33,1525
02/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1688214	269,94	H	0,798	26994	21,5412	8,94	19,2	11,2812	35,6486
03/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1686113	125,53	H	0,797	12553	10,0047	12,3	9,7	12,6047	39,8309
04/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1686889	115,86	H	0,798	11586	9,2456	12,38	8,74	12,8856	40,7185
05/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1686347	127,27	H	0,795	12727	10,118	9,5	7,4	12,218	38,6089
06/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1686701	291,02	H	0,794	29102	23,107	7,6	18,4	12,307	38,8901
07/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1694917	285,6	H	0,794	28560	22,6766	9,4	19	13,0766	41,3221
08/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1694932	150,27	H	0,794	15027	11,9314	8,8	8,96	11,7714	37,1976
09/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1686062	116,81	H	0,797	11681	9,3098	11,2	8,709	11,8008	37,2905
10/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1686721	135,61	H	0,794	13561	10,7674	9,68	9,5	10,9474	34,5938
11/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1695691	160,71	H	0,796	16071	12,7925	8,2	8,2	12,7925	40,4243
12/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1695697	142,15	H	0,787	14215	11,1872	10,4	9,6	11,9872	37,8796
13/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1686031	147,38	H	0,794	14738	11,702	9,2	8,9	12,002	37,9263
14/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1694999	136,01	H	0,796	13601	10,8264	9,1	7,5	12,4264	39,2674
15/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1695703	150,43	H	0,795	15043	11,9592	8,7	8,4	12,2592	38,7391
16/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1695388	240,05	H	0,796	24005	19,108	8,9	15,8	12,208	38,5773
17/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1695605	147,76	H	0,792	14776	11,7026	9,22	9,3	11,6226	36,7274
18/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1695276	168,92	H	0,797	16892	13,4629	7,7	10	11,1629	35,2748
19/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1695394	260,82	H	0,794	26082	20,7091	8,8	18,7	10,8091	34,1568
20/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1695400	124,78	H	0,796	12478	9,9325	10,46	9,8	10,5925	33,4723
21/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY		0	H	0,8	0	0	21,3	10	11,3	35,708
22/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1696171	117,69	H	0,796	11769	9,3681	11,3	9,2	11,4681	36,2392
23/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	0207252	273,47	H	0,796	27347	21,7682	8,6	18,2	12,1682	38,4515
24/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	1696688	141,24	H	0,794	14124	11,2145	9,3	8,84	11,6745	36,8914
25/02/2019 00:00	A332	ALG	ORY	0207206	139,01	H	0,795	13901	11,0513	9,9	8,9	12,0513	38,0821

Tableau 4.2: Résultats de calcul des émissions de CO2 par Airbus A330-202.

### 3. Etude statique des résultats

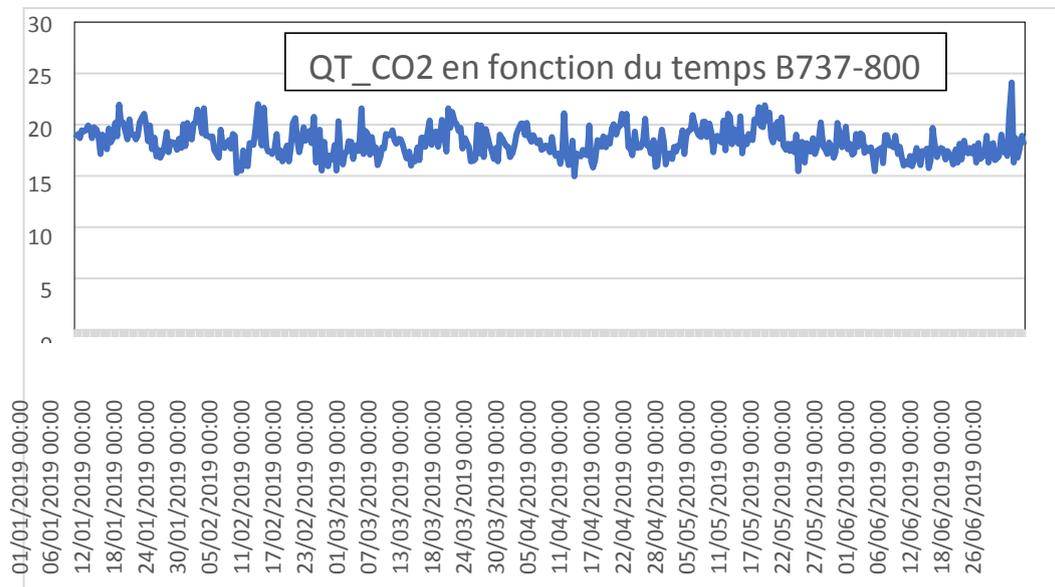
Nous regroupons l'ensemble des remarques observées à partir des tableaux 4.1 et 4.2 dans le tableau suivant :

	Boeing B737-800	Airbus A330-202
Nombre de vols effectués	459	186
Valeur max d'émission	24,1127 tonnes de CO2	45,6702 tonnes de CO2
Valeur min d'émission	14,9689 tonnes de CO2	30,3332 tonnes de CO2
Moyenne d'émission	19,6426 tonnes	41,2121 tonnes
Variance	1,9187	7,3559

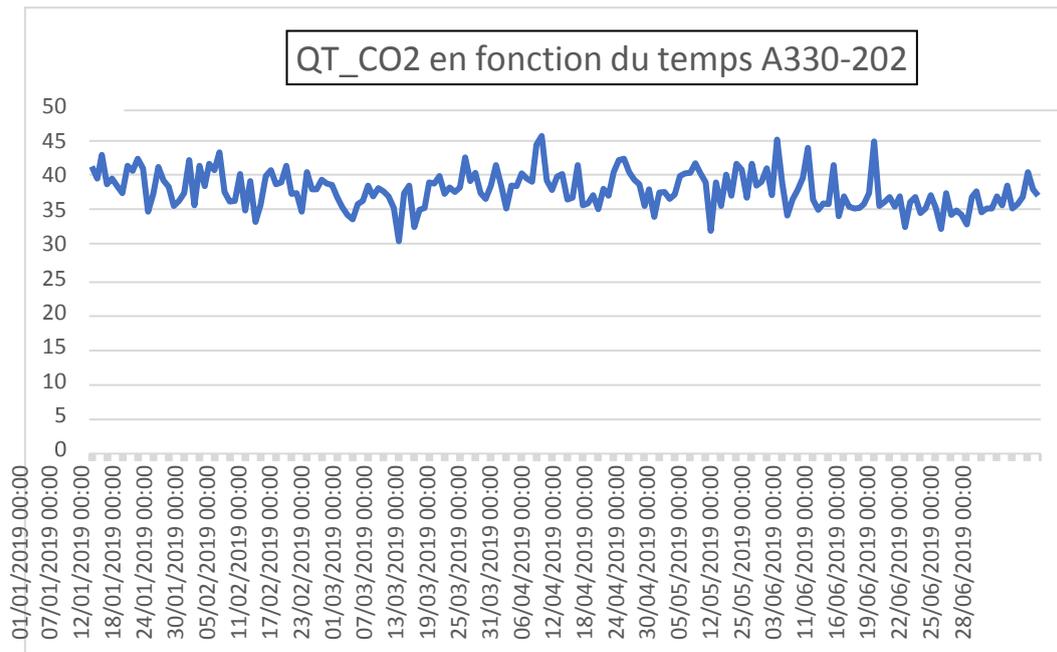
**Tableau 4.3 : Tableau statistique descriptif des vol étudiés.**

D'après le tableau 4.3, nous constatons que les émissions de CO2 de l'A330-202 sont plus élevées que celles du Boeing B737-800 malgré que le nombre de vols effectués par les Airbus soit moins important, Les valeurs maximales et minimales d'émissions par les Airbus sont presque le double des valeurs enregistrées par les Boeings.

Afin de voir l'évolution des émissions de CO2 durant la période d'études, nous allons établir pour chaque type d'avion une représentation graphique (figure 4.1 et figure 4.2).



**Figure 4.1 : Emissions de CO2 en fonction du temps par les Boeing B737-800.**



**Figure 4.2 : Emissions de CO2 en fonction du temps par les Airbus A330-202.**

Selon les figures (4.1) et (4.2), les émissions de CO2 des deux types d'avions ne montrent pas une régularité dans les émissions, mais plutôt des valeurs variant dans un domaine délimité par une valeur maximale et une valeur minimale.

Aussi, nous constatons que les émissions de CO2 de l'A330-202 sont plus élevées que celles du Boeing B737-800, cela laisse penser que le type de moteur d'avion pourra avoir une influence sur ces émissions.

#### **4. Etude de l'influence du type de moteur d'avion**

Il est connu dans le domaine de l'aviation qu'il existe deux grandes familles de moteurs d'avion, les moteurs à piston et les moteurs à réaction. L'aviation a commencé avec des moteurs à pistons rotatifs et que nous trouvons rarement utilisés maintenant, or les plus utilisés sont les moteurs à réaction.

Les moteurs utilisés pour les B737-800 et les A330-202 sont des moteurs à réaction autrement appelés « turboréacteurs ».

Les turboréacteurs utilisés pour les Boeings 737-800 sont dit « CFM56 » et qui se divisent en plusieurs versions notamment ceux utilisés pour les avions de notre étude B24, B26 et B27 et ceux utilisés dans le cas de l'Airbus 330-200 sont dit « CF6 ».

Nous nous basons dans notre comparaison sur les caractéristiques relatives à ces deux types de moteurs pour comprendre leurs émissions.

Le tableau 4.4 montre les caractéristiques des moteurs CFM56 et CF6.

Caractéristique	Moteur CFM56	Moteur CF6
Type	Turboréacteur	Turboréacteur
Matériel	Métal	
Longueur	2438 mm	4780 mm
Diamètre	1829 mm	2670 mm
Poids	2102 kg	3709 kg
Turbine	1	2
Compresseur	3 étages BP et 9 étages HP	1 étage BP et 16 étages HP
Poussée maximale	82 à 151 kN	185 kN
Consommation du carburant	26 020 litres	139 090 litres

**Tableau 4.4 : caractéristiques comparatives entre CFM56 et CF6**

Nous constatons que les moteurs Airbus CF6 sont plus grands en termes de longueur et de diamètre par rapport aux moteurs des Boeing CFM6, et ces deux caractéristiques signifient que les moteurs Airbus brûlent plus de carburant pour fournir l'énergie nécessaire pour faire voler l'avion, et ceci génère des émissions plus élevées ce qui explique les résultats obtenus.

Ensuite nous remarquons que le poids des deux moteurs est différent. Le moteur associé au Boeing 737-800 est plus léger que celui de l'Airbus A330-202. Plus le poids du moteur est important plus il consomme du carburant pour faire voler l'avion, et il émet plus de CO<sub>2</sub>.

En outre, nous remarquons que les deux moteurs sont composés des compresseurs à basse et à haute pression, sauf que dans le cas du premier moteur CFM56, nous comptons plus d'étages de compresseur à basse pression que le deuxième moteur CF6, et moins d'étages à haute pression contrairement au dernier. Le moteur CF6 est amené à faire circuler le flux d'air à une vitesse, pression et température plus élevées dans la chambre de combustion c'est-à-dire que l'air arrive dans cette dernière plus rapidement et à chaque fois nous enregistrons une consommation plus élevée du carburant, or qu'à l'intérieur de la chambre de combustion du moteur CFM56, l'air comprimé prend plus de temps pour arriver et à une vitesse réduite, ce qui réduit de même la consommation du carburant pour un instant t.

Par ailleurs, le moteur CFM56 est composée de deux turbines, alors que le CF6 seulement d'une seule. Le rôle de la turbine est de récupérer la quasi-totalité de la pression des gaz à la sortie de la chambre de combustion et les convertir en énergie cinétique, puis en énergie mécanique afin d'entraîner la soufflante, le compresseur et les différents équipements de servitude. L'énergie restante à la sortie de la turbine participe à la poussée du réacteur. Donc dans le cas du moteur CFM56, une seule turbine suffit à faire voler l'avion en vue de la poussée qu'il représente contrairement à la poussée de CF6 qui a besoin de deux turbines pour ce fait, et qui ont également besoin de brûler plus de carburant pour obtenir l'énergie nécessaire.

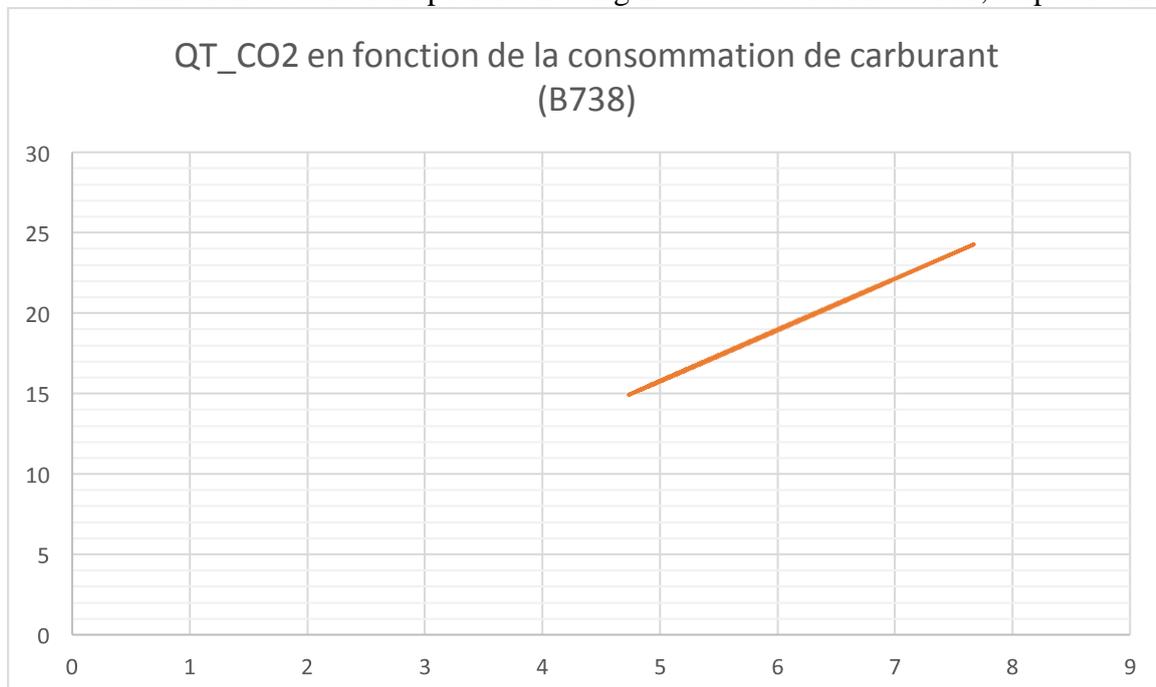
Nous déduisons d'autre part que la poussée maximale du moteur CFM56 est plus faible que celle du moteur CF6, c'est-à-dire que le premier a besoin de moins d'énergie pour avancer vers l'avant, or que c'est le cas contraire pour le deuxième moteur.

Enfin, la consommation du carburant est plus importante par le moteur de type CF6 et faible par le CFM56 pour raison qu'il soit de type next generation ayant une caractéristique de consommation réduite à 25% par rapport aux autres moteurs mais aussi sous l'influence des paramètres précédents qui caractérisent ce dernier.

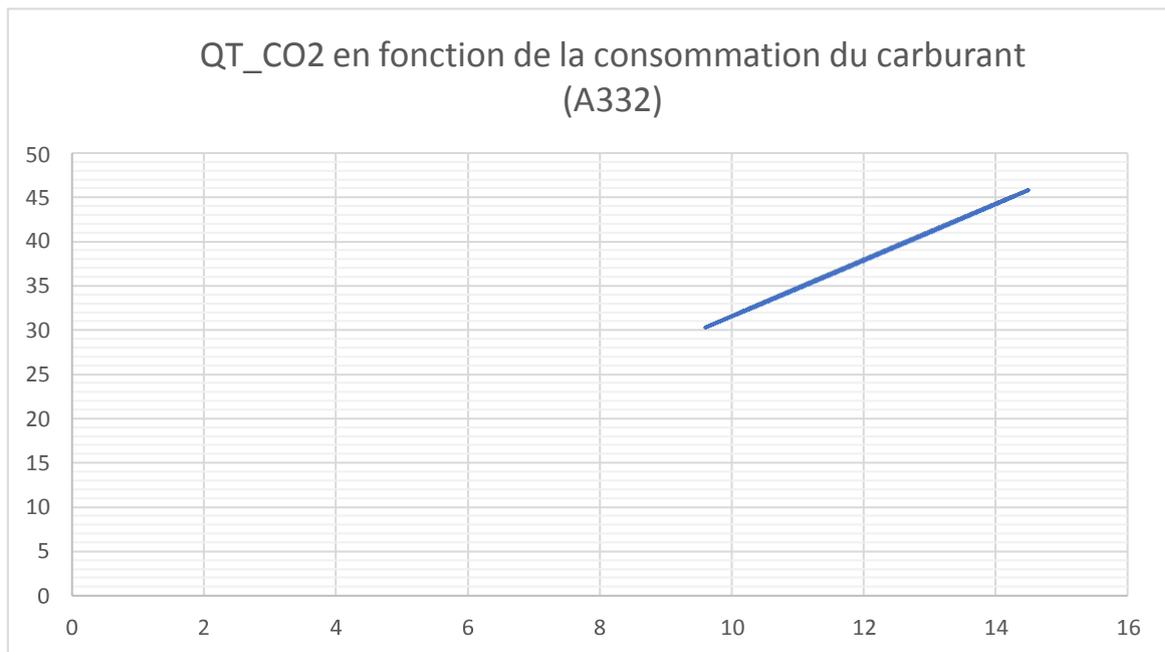
Afin de montrer l'influence de la consommation du carburant sur les émissions de CO<sub>2</sub>, nous allons représenter les valeurs des émissions en fonction de la variation de la consommation et discuter les paramètres pouvant jouer sur cette dernière.

#### 4.1. Etude de l'influence de la variation de la consommation du carburant

Les figures 4.3 et 4.4 illustrent l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> en fonction de la consommation du carburant pour les Boeing B737-800 et les A330-202, respectivement.



**Figure 4.3: Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> en fonction de la consommation du carburant pour les Boeing B737-800.**



**Figure 4.4 : Evolution des émissions de CO2 en fonction de la consommation du carburant pour les A330-202.**

D'après les deux figures, la consommation du Boeing est plus basse que celle de l'Airbus qui s'explique du fait qu'ils n'ont pas le même type de moteur en vue des caractéristiques, et aussi, le rapport entre la consommation du carburant et les émissions est proportionnelle, plus la consommation est grande plus l'émission augmente.

A la base de ce résultat, nous essayons d'exploiter les facteurs influençant la consommation du carburant.

La consommation du carburant est liée au nombre de kilométrage parcouru par l'avion, plus le trajet est long plus il nécessite une grande quantité de carburant qui cause des émissions élevées. Par ce fait, les Airbus sont connus par les longs courriers donc ils ont besoin de plus de consommation, différemment des Boeings qui font uniquement les courts courriers. Pour la même distance, le temps du vol influence aussi sur la consommation, une durée importante du vol induit une consommation plus élevée du carburant.

Le poids de l'avion est aussi un paramètre qui influence la consommation, un poids élevé a besoin plus d'énergie pour voler, chaque poids en plus de 25% fait augmenter la consommation de carburant de 1%. Par ailleurs, les avions Airbus ont une capacité d'emport qui est égale à 575 t au décollage et 394 t à l'atterrissage, alors que les Boeings ont une capacité qui varie de 50,30 à 85,10 t au décollage et 50 à 66,36 t à l'atterrissage. La consommation du kérozène varie selon les phases du vol, elle n'est pas la même au décollage qu'à l'atterrissage et non plus à une altitude  $x$  fixe dans l'air. En effet, l'avion a besoin d'un grand apport d'énergie au décollage, car dans cette phase plusieurs facteurs interviennent, tels que le poids, la capacité d'emport, la nature du sol etc. En phase de vol, à une altitude fixe dans l'air elle l'avion consomme moins car elle est à une vitesse presque constante. De là nous comprenons la grande consommation par les Airbus.

Par ailleurs, la vitesse de l'avion a aussi un effet significatif sur la consommation spécifique du carburant ; elle est approximativement proportionnelle à la vitesse de l'avion. Airbus a une vitesse maximale de 1020 km/h, et Boeing de 935 km/h, donc la demande en carburant par l'Airbus est plus élevée comparée à celle des Boeings.

Enfin, l'ensemble de l'équipage d'un avion (pilote – commandant, etc.) peut jouer sur la consommation du carburant, la vitesse de décollage, de vol et d'atterrissage.

## 4.2. Etude de l'influence des paramètres agissant sur la combustion

Pour réaliser une combustion dans l'avion, trois types d'équipements sont nécessaires, les compresseurs, la chambre de combustion et les turbines.

Tout d'abord l'air est aspiré à l'intérieur du moteur d'avion, puis compresser à travers les compresseurs, d'abord par le compresseur à basse pression (BP) qui le comprime et puis par le compresseur à haute pression (HP) qui amène l'air dans la chambre de combustion dans des conditions optimales de pression et de température.

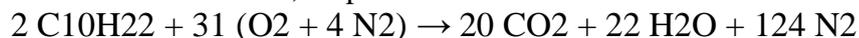
Une fois l'air est dans la chambre de combustion qui est connu par le cœur du moteur, une partie rentre directement dans le tube à flammes et dans l'injecteur pour contribuer à la combustion. Une autre partie contourne le tube à flammes et sert à la fois pour refroidir les parois et pour diluer et mélanger l'écoulement de l'air dans le foyer.

En sortant de la chambre de combustion, les gaz qui se trouvent à haute vitesse de circulation et une haute pression fournissant la force nécessaire pour faire tourner les turbines qui se trouvent sur le même axe avec les compresseurs et qui fournissent 80% de l'énergie poussant l'avion vers l'avant.

Dans le cas général, la réaction de combustion peut s'écrire sous la forme suivante :

Fuel +  $\longrightarrow$  O<sub>2</sub> énergie + CO<sub>2</sub> + eau

Donc, pour la réaction de combustion du kérozène, on peut écrire :



La combustion complète du carburant génère la production des polluants principalement le CO<sub>2</sub> et la vapeur d'eau qui sont rejetés dans l'air et plus la combustion est meilleure, plus nous enregistrons des émissions de CO<sub>2</sub>.

Pour comprendre la variation des émissions de CO<sub>2</sub>, nous nous intéressons aux paramètres qui influencent la combustion et que nous citons comme suit :

- La température d'entrée dans la chambre de combustion : plus la température est élevée mieux la combustion s'effectuera, ainsi que le carburant est complètement brûlé.
- La pression d'entrée dans la chambre : elle peut varier de 0,2 bar à 30 bars. La haute pression aide l'air comprimé à circuler plus rapidement pour arriver à la chambre de combustion ainsi pour les gaz à la sortie des turbines.
- La vitesse d'écoulement à l'entrée de la chambre : Pour que la combustion soit possible, il faut que la vitesse de l'écoulement ne soit pas supérieure à la vitesse de propagation de la flamme. Donc pour qu'une injection en continu du carburant puisse donner une flamme stable il faut que les gouttelettes de carburant injectées rencontrent rapidement les gouttelettes de carburant allumées afin de récupérer assez d'énergie pour leur propre allumage.

- Indice de gomme de carburant : c'est est la quantité de matières sèches non brûlées après la combustion et qui forment des suies à haute température, c'est un paramètre qui provoque une augmentation de la consommation du carburant et ce qui défavorise l'achèvement de la combustion, c'est-à-dire plus de résidus.

On estime que 1 kg de carburant contient des gommes plus que l'on doit prendre, et plus les gommes sont contenues dans le carburant, le moteur brûle moins que la quantité souhaitable car le calculateur de moteur calcule la quantité injectée (kg/h) dans le moteur pour avoir un rendement X.

Exemple : si le calculateur indique que pour le vol, nous avons besoin de brûler 1 tonne pure de carburant, nous devons injecter plus de la quantité indiquée, car une tonne contiendra des gommes, donc nous ne brûlerons pas une tonne.

## 5. Etude de l'influence du type du carburant

Il existe trois types de carburant d'avion : le Jet A / JP1 ou encore appelé TR0, Jet B / JP4 ou TR4 et le biocarburant. Les moteurs d'avions sont basés généralement sur l'emploi du Jet A1 connu par le Kérosène qui répond le mieux à tous les critères d'utilisation ainsi que c'est le cas d'Air Algérie, et dans d'autres cas le Jet B pour les pays assez froids comme au Canada.

Par ailleurs, le biocarburant est défini par une nouvelle technologie qui vise à réduire les émissions des GES, notamment en termes d'écologie si on considère uniquement leurs impacts lors de leurs émissions, les moteurs à utilisation du biocarburant rejettent, en effet, des gaz polluants en plus faibles doses.

Dans notre cas d'étude, le kérosène est le carburant utilisé pour les deux types d'avions.

La combustion d'un litre de kérosène libère 2,52 kg de CO<sub>2</sub>, auxquels il faut ajouter 0,52 kg pour l'extraction, le transport et le raffinage, soit un facteur d'émission total de 3,04 kg de CO<sub>2</sub> par litre de kérosène.

Un carburant aéronautique doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Un fort pouvoir calorifique par unité de masse pour favoriser l'autonomie de vol ;
- Une forte masse volumique pour diminuer le volume des réservoirs à masse donnée ;
- Une faible inflammabilité aux conditions de température et de pression d'emploi, pour augmenter la sécurité du vol ;
- Un bon pouvoir lubrifiant pour garantir une bonne durée de vie des pompes et différents organes traversés par le carburant ;
- Un prix compatible avec l'économie du transport aérien pour le civil ;
- Le point d'éclair (inflammation en présence d'une étincelle) ;
- Le point de congélation.

Le tableau 4.5 regroupe les caractéristiques des trois types de carburants :

	Jet A	Jet B	Biocarburant
Pouvoir calorifique (Kcal/Kg)	10 300	10 000	28 900 - 35 600
Masse volumique (Kg/m <sup>3</sup> )	775-840	751-802	Dépend de la source d'extraction
Point congélation (C°)	-40	-50	/
Point d'éclair (C°)	49-55	/	46
Nature	Raffinage du pétrole	Raffinage du pétrole	Plantes, huiles, alcools et bois.
Disponibilité sur le marché	Disponible	Disponible	Rare
Prix	Moyen	Moyen	Élevé

**Tableau 4.5 : Tableau comparatif des caractéristiques des différents types de carburants**

Nous constatons d'après le tableau 4.5 que le biocarburant représente le pouvoir calorifique le plus élevé comparé aux deux autres types de carburant qui fait de lui le carburant le plus autonome. En outre si nous considérons le critère de la masse volumique, le Jet A est le plus performant selon les données que nous disposons, ce carburant est pauvre en impuretés et en eau, ce qui fait de lui un carburant puissant. Par rapport au point de congélation, nous remarquons que le Jet A se congèle à partir de -40 °C alors que le Jet B à partir de -50 °C, donc le Jet B est plus adéquat pour les vols dans des climats très froid en vue de sa résistance. Par ailleurs, le biocarburant est inflammable à une température inférieure à celle du Jet A, et ce paramètre favorise la réaction de combustion dans le moteur du biocarburant en si peu de temps comparant au Jet A.

D'autre part, le Jet A et le Jet B sont issus du raffinage du pétrole, ce qui explique la nature de leurs rejets fortement organiques après la combustion comme le CO<sub>2</sub>, contrairement au biocarburant qui est d'origine naturelle, et donc ses émissions sont écologiquement meilleures. Le biocarburant est actuellement le fuel le plus concurrentiel au kérosène, mais malheureusement il n'est pas adopté pour la plupart de types de moteurs et aussi moins produit dans le monde ce qui rend son prix élevé sur le marché.

Nous concluons que le kérosène est le carburant le plus adapté actuellement en raison de ses performances citées avant, mais aussi reste le plus polluant. Cela dit que le biocarburant présente des performances égales, voire supérieures à celle du kérosène et reste la meilleure alternative pour une aviation presque totalement verte.

### 5.1. Etude de l'influence la densité du carburant

Afin d'étudier l'effet de la densité du carburant sur les émissions de CO<sub>2</sub>, nous donnons d'abord la définition de la densité qui est le rapport entre la masse volumique du carburant et la masse volumique de l'eau.

$$D = \rho(\text{carburant}) / \rho(\text{eau})$$

D'après les tableaux 4.1 et 4.2, nous remarquons que plus la densité est importante plus l'émission du CO<sub>2</sub> est élevée, et ce pour les deux types d'avion. Nous exécutons un exemple de comparaison entre deux vols où le premier utilise une densité de carburant égale à 0,800 et le deuxième utilise une valeur de 0,794 depuis le tableau 4.1.

FLT_DATE	AC_TYP E	BPT	OPT	N_BLF	QT_BL F	UNITE	DENS	QT_EN_ L	QT_EN_ T	QT1_CR M	QT2_CR M	QT_CON S	QT_CO2
06/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684214	86,6	H	0,79	8660	6,8414	3,6	4,5	5,9414	18,7748
11/01/2019 00:00	B738	ALG	ORY	1684841	69,95	H	0,8	6995	5,596	4,8	3,9	6,496	20,5274

Nous remarquons que le vol ayant une densité de carburant égale à 0,800, les émissions étaient égales à 20,5274 tonnes de CO<sub>2</sub>, alors qu'à une densité de 0,794 les émissions ont diminué à 18,7748 tonnes.

Même si la différence de densité est de l'ordre de 0,01, elle affectera le résultat des émissions de CO<sub>2</sub>.

La densité élevée du carburant veut dire que la teneur en eau est très faible ou inexistante dans le mélange du carburant sa masse sera retenue en fortes quantités ce qui entraîne un pouvoir énergétique important et rendement de combustion meilleur.

Par rappel, le CO<sub>2</sub> est le résultat d'une combustion complète, donc plus le rendement de cette dernière est élevé, plus les émissions de CO<sub>2</sub> sont importantes.

Après l'étude des différents paramètres agissant sur l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub>, nous présentons les initiatives prises par Air Algérie dans le but de contrôler et diminuer ses émissions.

## 6. Démarches prises par Air Algérie pour l'atténuation des émissions de CO<sub>2</sub>

Dans le cadre de la protection de l'environnement et tenir droit de ses engagements internationaux pour la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, Air Algérie a pris des mesures pour diminuer ses émissions.

Nous présentons l'ensemble de démarches prises par la compagnie dans le tableau 4.6.

Mesure	Description	Réduction Emission de co2 en tonne	Remarques
Réduction du temps d'utilisation de l'APU, se doter de GPU et ACU. -APU : turbomoteur. -GPU : générateur d'électricité. -ACU : climatisation.	Le but principal est de réduire la consommation du carburant par le turbomoteur APU en utilisant une source électrique pour l'énergie de l'avion dite GPU.  Cette mesure permet de réduire l'utilisation des APU de 80%, en se dotant de GPU/ACU avec changement des procédures DOS pour	29 723	Action réalisée

	brancher systématiquement un GPU/ACU à l'avion dès son arrivée.		
Implémentation des procédures décollage NADP à partir des terrains Algériens et Africains. NADP : Procédure de départ pour la réduction du bruit.	Cette méthode est appliquée pour réduire la puissance de moteurs et par conséquent la consommation du carburant. La rentrée des trainées (roues de l'avion) se fait à 300m du sol (environ 1000 pieds d'altitude).	379	Action en cours
Optimisation de la route : technique des directs	Cette mesure consiste à réduire le temps de vol en utilisant des trajectoires de vols plus courtes que ceux exigées par les autorités	9 759	Action en cours
Choix des routes	Choisir d'atterrir face à l'Est ou face à l'Ouest permet de gagner 8 à 10min de vol	2 894	Action en cours
Allègement des avions par la révision de la politique bagage avec stricte application.	Bagage en soute et cabine.	4 473	Action réalisée
Allègement des avions par le débarquement des lots de bord.	Consiste à débarquer les roues de rechange transportées en soute.	1 221	Action en cours
Remplacement de la documentation transportée dans le poste de pilotage par documentation électronique plus fiable et facile d'accès.	Toute la documentation utilisée dans le poste de pilotage est en format pdf dans une tablette.	411	Action en cours
Application stricte du politique carburant actuellement basée sur le logiciel JETPLAN.	Le calcul de la quantité du carburant nécessaire pour le vol par un logiciel JETPLAN pour éviter le poids supplémentaire que l'avion peut prendre.	1 000	Action réalisée

**Tableau 4.6: Démarches prises par Air Algérie pour l'atténuation des émissions de CO2.**

Nous remarquons que la compagnie Air Algérie a réussi à diminuer ses émissions de CO2 à travers l'application de ces démarches. La diminution reste légère, et pour cela il faudrait enrichir ces démarches pour améliorer les résultats. Pour ce faire, nous proposons une série de mesures.

## 7. Perspectives

### 7.1. Actions sur la politique de la compagnie

- Mieux gérer le trafic aérien en réduisant le temps d'attente des avions avant de pouvoir atterrir par l'élargissement de l'ouverture d'autres pistes d'avions pour permettre à plus d'avions d'atterrir en même temps.
- Diminuer la fréquence des vols de nuit en vue de la gravité des nuisances imposées aux riverains selon l'OMS, mais surtout parce que la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) est multipliée fois 10 la nuit. Par exemple, durant la nuit les vols seront moins chargés, donc en optimisant le temps du vol de seulement 10min peut réduire la consommation du carburant.
- Installations des technologies visant à réduire l'impact environnemental des émissions de CO2 surtout auprès des aéroports étrangers comme les purificateurs d'air qui aspirent l'air chargé en CO2 ainsi que tous les gaz à effet de serre, le purifier puis le rejeter dans l'atmosphère, ou l'installation des technologies de captage et stockage du Carbone qui consistent à capter les émissions de CO2, les compresser, puis à les acheminer par des pipelines dans des réservoirs souterrains pour un stockage théoriquement permanent.
- l'Achat de nouveaux avions, en raison que les moteurs ainsi que la surface extérieure de l'avion se dégradent au fil du temps donc ils seront plus polluants.
- Optimiser le service des repas ainsi que les produits alimentaires dédiés aux passagers, tel qu'un fruit par passager peut réduire le poids d'un avion avec une manière optimale si nous comptons pour plus de 100 passagers et donc le poids de l'avion diminuera.

### 7.2. Actions sur le secteur de l'aviation

- Optimiser les procédures de vol en réduisant le temps de roulage au sol et assurant une montée continue de l'appareil lors du décollage.
- Appliquer des mesures de maintenances plus strictes notamment celles qui agissent sur la tôlerie extérieure des aéronefs afin d'assurer de meilleures performances aérodynamiques pour limiter le frottement avec l'air au cours des vols, et de réduire la consommation du carburant. Des actions peuvent être appliquées, tel que l'augmentation des fréquences de révision et l'utilisation des matériaux plus adéquats pour faire face aux fissures.
- Améliorer la qualité de carburant à travers les analyses et les recommandations aux fournisseurs comme la réduction du taux d'impureté du kérosène et le taux d'humidité.
- Adopter la politique des biocarburants aéronautiques qui visent à réduire les émissions de CO2 jusqu'à 80% de ce qu'émet le kérosène. Cela peut être possible par l'encouragement des recherches portant sur la synthèse du biocarburant.
- Soutenir l'idée d'éco pilotage, tel que la consommation de carburant dépend de son pilote, on estime qu'une vitesse réduite de 10 à 15 km/h au décollage permet de faire des économies de 40 kilos de kérosène. En vol, le pilote peut encore économiser en circulant à une altitude optimale.

## Conclusion Générale

Notre travail au niveau d'Air Algérie consiste à appliquer le plan du suivi des émissions de CO<sub>2</sub> par les aéronefs adapté pour les systèmes EU-ETS et CORSIA auxquels la compagnie est soumise. Air Algérie doit donc plus que jamais réduire ses émissions de CO<sub>2</sub> afin d'éviter les pénalisations internationales qui se résument en taxe de carbone pour pouvoir maintenir son activité aérienne

Dans un premier temps, un diagnostic a été mener pour comprendre les deux systèmes internationaux EU-ETS et CORSIA. Cela nous a permis d'accueillir une connaissance profonde de ce leurs politiques d'application et de suivi des émissions de CO<sub>2</sub>, leurs méthodes de calcul et l'adaptation de la compagnie Air Algérie de ces deux derniers.

Nous nous sommes ensuite focalisés sur l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> de la compagnie d'étude, et l'exploitation de son plan de suivi de ses émissions pour un exemple de vol Alger- Orly durant le premier semestre de 2019 où nous avons adapté une méthodologie en plusieurs étape.

La première étape s'est basée sur la collecte des données de vol à partir des documents ATL et BLF. Nous avons pu extraire les quantités de carburant pour chaque vol ainsi que la densité et d'autres informations relatives aux vols comme le numéro de vol et le numéro de BLF. Cette étape est la plus sensible au calcul de la consommation du carburant, car la formule est basée sur ces données.

L'étape suivante était bien la saisie des données collectées dans le support informatique SODOVOL à travers le module saisi où toutes ses informations sont sécurisées.

Ensuite, nous avons effectué une vérification des données saisies toujours par le même système à travers un autre module dit module de contrôle pour éviter toute erreur évidente.

Par ailleurs, nous nous sommes procédés au calcul de la consommation du carburant par la méthode B des systèmes l'EU-ETS et CORSIA.

Enfin, nous avons calculé les émissions de CO<sub>2</sub> provenues des vols Alger-Orly durant toute la période d'étude et ceci est selon les deux systèmes cités.

Les résultats obtenus du calcul des émissions de CO<sub>2</sub> nous ont permis d'arriver aux conclusions suivantes :

Les émissions de CO<sub>2</sub> d'Air Algérie n'arrêtent pas de s'accroître depuis 2011.

La méthode de calcul B de la consommation du carburant que nous avons utilisé est applicable pour tous les types de vols d'Air Algérie et elle a été retenu parmi d'autres méthodes de calcul en raison de la disponibilité de ses données et sa facilité d'application.

Le suivi des émissions de CO<sub>2</sub> se divise en deux étapes, la première débute avant même d'effectuer le vol par la préparation du plan de vol, et la deuxième vient après le vol par la collecte des données relatives à la consommation de carburant.

Le SODOVOL est un système complet qui utilise des algorithmes adaptés pour la saisie des quantités de carburant, la vérification des données introduits, le calcul de la

consommation de carburant et le sauvegarde des données en toute sécurité.

Le type de moteur est un paramètre qui influence les émissions de CO<sub>2</sub> et les moteurs Airbus 330-200 consomme plus du carburant et émet plus du CO<sub>2</sub> que celui dédié aux Boeings B738-800.

La consommation du carburant affecte également les émissions de CO<sub>2</sub>, tel que les émissions augmentent avec une grande consommation.

La consommation du carburant est liée au poids du moteur et/ou d'avion, aux conditions météorologiques, la durée et la vitesse du vol.

Le kérozène est le meilleur carburant à présent, grâce à son pouvoir calorifique élevée, sa disponibilité sur le marché, ainsi que son applicabilité pour la majorité des vols et son prix moyen.

Le biocarburant est la solution future pour réduire les émissions de l'aviation, en vue de sa concurrence avec le kérozène vis-à-vis le PCI important qu'il représente et ses émissions plus écologiques. Le point clé de ce dernier reste qu'il n'est pas utilisable pour la plupart des moteurs, sa rareté et son prix excessif.

Pour conclure, Air Algérie a réussi à diminuer ses émissions en adoptant une bonne politique de suivi des émissions et des solutions à long terme. La compagnie est mise sous contrôle de l'audit annuel, actuellement elle est certifiée sous l'égide de la bonne pratique des règlements internationaux.

## Références

1. « Notre planète » en ligne  
[https://www.notreplanete.info/environnement/pollution\\_air/pollution-atmospherique.php#source](https://www.notreplanete.info/environnement/pollution_air/pollution-atmospherique.php#source).
2. « le rôle » soufre : aviation and the global atmosphère p 260  
<https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
3. « tableau 2 » *source GIEC*, p. 20, <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
4. «Annexe 1» p. 20, «les payes de annexe » <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
5. CO<sub>2</sub> p. 20 <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
6. « tableau 3 » *source, UNFC ET WRI*, <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
7. « tableau 4 » *source, UNFC ET WRI*, <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
8. « tableau 5 » *source, AIE et OACI*, p. 22, <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
9. CO<sub>2</sub>, donnée 1997 ,modèle aero p. 22 <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
10. « tableau 6 » *source, modèle aero* p. 22, <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
11. « tableau 7 » *source, CITEPA* p. 23, <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
12. « tableau 8 » *source, CITEPA* p. 24, <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
13. « la recette au passage » p. 24, <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
14. L'OACI les hypothèse liée» p. 25, <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
15. Comité de L'OACI» p. 25, <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
16. « tableau 9 » *source, Aero* p. 25, <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
17. « tableau 10 » *source, Aero* p. 25, <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
18. « tableau 11 » *source, Aero* p. 26, <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
19. « tableau 12 » *source, Aero* p. 27, <https://ree.developpement.durable.gouv.fr>
20. Jack, « La Bombe Méthane » 02 02 2019.
21. « European union » annual European Union (EU) emission inventory report., 2018. [En ligne].Available:  
<https://www.greenfacts.org/en/digests/themesindex.htm>. [Accès le 09 06 2020].
22. « Ircel-celine » [En ligne].  
Available : <https://www.irceline.be/fr/qualite-de-lair/mesures/ozone/history/evolution>.
23. B. Pradines, « geriatrie-albi.com » [En ligne].  
Available : <http://geriatrie-albi.com/Polluantsatmos.pdf>. [Accès le 06 2020].

24. Brunekreef, B. and Holgate, S, « Air Pollution and Health ».
25. G. Rochefort, « ingénierie de la Santé Écotoxicologie – Pollution atmosphérique » p. 22, 2016.
26. Dominici, F., Peng, R. D., Barr, C. D., and Bell, M. L « Protecting Human Health From Air »  
*Epidemiology*, p. 187–194, 2010
27. G. O, « Unilateral European Post-Kyoto Climate Policy and Economic » *Ecole Polytechnique, Chaire développement durable.*, 2008.
28. L. B. Faber J, « the inclusion of aviation in the EU Emissions Trading system : an economic and environmental assessment » *Trade and sustainable Energy series, ITCDS*, 2011.
29. « Web de l'EU ETS : marchés du carbone » [En ligne]. Available :  
[https://ec.europa.eu/clima/policies/eccp\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/eccp_en).
30. « Eurocontrol » [En ligne]. Available : <https://www.eurocontrol.int/tool/small-emitters-tool>.
31. « OACI-CORSIA » 2016, [En ligne]. Available : [https://www.icao.int/about-icao/Pages/FR/default\\_FR.aspx](https://www.icao.int/about-icao/Pages/FR/default_FR.aspx).
32. Darby.M, « offshore carbon : why a climate deal for shipping is sinking » *climate home*, 15 072016.
33. ICAO » 2019. [En ligne]. Available : <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/CERT.aspx>.
34. A. ZOBIRI, L. MAZOUZI « modèle de maximisation des connexions à l'escale d'Alger » Avril 2010.
35. « Air Algérie » [En ligne].

## **Annexe 1 : Missions d'Air Algérie**

Les missions principales de la compagnie sont :

- Le transport des passagers, des bagages et des courriers par voie aérienne dans des conditions de confort et de sécurité.
- L'exploitation des lignes aériennes internationales dans le cadre des conventions et accords internationaux.
- L'exploitation des lignes aériennes intérieures, et internationales, en vue de garantir le transport public régulier et non régulier des personnes, des bagages, de fret et de courriers.
- La vente et l'émission de titres de transport pour son compte ou pour le compte d'autres entreprises de transport.
- L'achat et la location d'aéronefs.
- Le transit, les commissions, les consignations, la présentation, l'assistance commerciale, et toutes prestations en rapport avec son sujet.
- L'avitaillement des avions dans des conditions fixées par le ministère du transport, l'entretien, la réparation, la révision et toute autre opération de maintenance des aéronefs et équipements pour son compte et le compte des tiers.
- La gestion et le développement des installations destinées aux publics, et aux opérations de fret.
- L'exploitation et la gestion des installations en vue de promouvoir les prestations commerciales au niveau des aérogares.

## Annexe 2 : Caractéristique de la flotte d'

Type Avion	Désignation OACI	Immatriculation	Nombre d'avion	MTOW (kg)	Type Fuel
A330-202	A332	7T-VJA/ 7T-VJB/ 7T-VJC	3	238 000	JET A1
		7T-VJV/ 7T-VJW/ 7T-VJX/ 7T-VJY/ 7T-VJZ	5	230 000	
ATR72-500	AT75	7T-VUI/7T-VUJ/7T-VUK/7T-VUL/7T-VUM/7T-VUN/7T-VUO/ 7T-VUP/7T-VUQ/7T-VUR/7T-VUS/7T-VVQ/7T-VVR	12	22 800	
ATR72-600	AT76	7T-VUT/7T-VUV/7T-VUW	3	23 000	
B737-600	B736	7T-VJQ/7T-VJR/7T-VJS/7T-VJT/7T-VJU	5	65 090	
B737-700C	B737	7T-VKS/7T-VKT	2	77 564	
B737-800	B738	7T-VJJ/7T-VJK/7T-VJL 7T-VJM/7T-VJN/7T-VKO/7T-VJP 7T-VKA/7T-VKB/7T-VKC 7T-VKD/7T-VKE/7T-VKF/ 7T-VKG/7T-VKH/7T-VKI/7T-VKJ/7T-VKK/7T-VKL/7T-VKM/7T-VKN/7T-VKO/7T-VKP/7T-VKQ/7T-VKR	25	79 015	
B767-300	B763	7T-VJG/7T-VJH/7T-VJI	3	156 489	
L382G	C130	7T-VHL	1	77 500	

### **Annexe 3 : Missions et attributions de la cellule environnement**

- Assurer la conformité de l'entreprise aux exigences réglementaires
- Centraliser les informations de vol relatives aux temps de vol, aux chargements, aux consommations des aéronefs et autres données.
- L'Elaboration, l'implémentation, la mise à jour et l'approbation des plans de surveillance exigés par les autorités de régulation ;
- L'Elaboration, la vérification et l'approbation des Rapports annuels des émissions de Gaz Nocifs et de réalisation des Tonnes x Kilomètres Transportées (TKT) exigés par les autorités de régulation ;
- Assurer le suivi des Consommations de Carburant, des émissions de Gaz à Effet de Serre et des chargements de tous les vols ;
- L'Elaboration, la mise en place et le suivi du Système de Fuel Management ;
- L'Elaboration, la mise en place et suivi, conjointement avec le Département Carburant de la DOA, des stratégies d'achat du carburant (politique d'achats groupés) ;
- Assurer la couverture des besoins de l'Entreprise en matière de quotas d'Emissions de Gaz à Effet de Serre ;
- La mise en œuvre et le suivi de la politique de développement durable de l'entreprise ;
- Présenter aux décideurs de l'Entreprise des Rapports Trimestriels portant sur les chargements réalisés, les activités d'avions et le poste carburant (comprenant un état de la consommation réelle de carburant par ligne, par appareil et par réseau, exprimée en termes de volume et de coût, ainsi qu'une cartographie des enlèvements de carburant en termes de volume et de coût).