

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLEB
BLIDA



FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT D'AERONAUTIQUE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN AERONAUTIQUE
OPTION : OPERATIONS AERIENNES



INVENTAIRE DES EMISSIONS MOTEUR POUR LE PARC AERIEN ALGERIEN

Réalisé par :

Mlle MEZIANI Ouiza

Dirigé par :

Mr ABADA Omar

Mr KBAB Hakim

Mr EL AICHI Toufik

Résumé

Ce travail est effectué dans la perspective de la réalisation de l'inventaire des émissions polluantes issues du trafic aérien en Algérie de 2009 à 2011. Cet inventaire constitue un outil fondamental pour les études d'impact sur l'environnement et la santé de la population.

Dans une première phase, la base de données du parc aérien algérien est élaborée avec les paramètres de son usage tel que les mouvements effectués, la consommation en carburant et les rejets selon les phases du cycle LTO.

A partir des enquêtes effectuées, on a aboutit à un parc navigant d'environ 74 appareils pour l'année 2011 dont 43% sont des appareils à turboréacteur. Le jet A1 étant le carburant utilisé pour notre parc aérien, on a enregistré une consommation de 15114510,24 (Hl) soit 548471,7496 (t) durant la période allant de 2006 à 2010 et en nette progression en raison de l'augmentation de l'activité aérien. La quantité de CO₂ rejetée varie selon la consommation en carburant et a atteint son maximum en 2009 à 1045803874.5 tonnes.

On compare avec des inventaires réalisés par d'autres Organismes (DGAC) et leur calculateur (TARMAAC), on réalise l'incertitude comise par l'approche basée uniquement sur la consommation carburant sans prendre compte des passagers transportés ni des distances parcourues par ce parc pour le CO₂.

L'incertitude sur les inventaires d'émission peut être réduite en adoptant des outils spécifiques et en développant des bases de données réalistes. L'objectif ultime est de faire des techniques d'inventaire des émissions un outil de gestion et de recherche en matière de protection de l'environnement et de maîtrise de l'énergie par les scientifiques et décideurs.

Abstract

This work is carried out from the point of view of the realization of the inventory of the polluting emissions resulting from the air traffic in Algeria from 2009 to 2011. This inventory constitutes a fundamental tool for the impact studies on the environment and public health.

In a first phase, the database of the Algerian air park is elaborate with the parameters of its use such as the movements carried out, consumption while carburizing and the rejections according to the phases of cycle LTO.

From the investigations carried out, one has leads to a sailing park of approximately 74 apparatuses for the year 2011 of which 43% are turbojet apparatuses. The jet A1 being the containing hydrocarbon one used for our air park, one recorded a consumption of 15114510,24 (Hl) that is to say 548471,7496 (T) during the period going from 2006 to 2010 and in clear progression because of the increase in the flying activity. The quantity of CO₂ rejected varies according to consumption while carburizing and reached are maximum in 2009 to 1045803874.5 tons.

One comparison with inventory realizes by other Organizations (DGAC) and their calculator (TARMAAC), one carries out the uncertainty made by the approach based only on consumption carburizing without taking account of the transported passers nor of the distances covered by this park for CO₂.

Uncertainty on the inventory of emission can be reduced by adopting specific tools and one developing realistic databases. The ultimate objective is to make techniques of inventory of the emission management tools and research environmental protection control of energy by the scientists and decision makers.

تم انجاز هذا العمل بأمل تحقيق بيان بموجودات الاطراحات الملوثة للمحركات الناتجة من النقل الجوي بالجزائر من الفترة الممتدة بين 2009 و 2011 . هذا البيان يؤلف أداة أساسية لدراسة التأثير على البيئة و الصحة .

أولا تم انجاز قاعدة معلومات عن مجموع الطائرات في البلد تمت تهيئتها بالمعلومات أي التحركات استهلاك الوقود و كذا الاطراحات حسب أطوار الدورة (LTO).

بعد التحقيقات تمكنا من تسجيل مجموعة طائرات تعد ب 74
2011 منها 43% ذات محركات نفاثة باستهلاك الوقود من نوع (jet A)
15114510 هل من الاستهلاك العام أي 548471.74
بين 2006 و 2010 وهي بازدياد مستمر بسبب ازدهار النقل الجوي، كمية CO₂
متغيرة حسب الاستهلاك و قد بلغت ذروتها عام 2009 1045803874 () .

بالمقارنة ببيانات أخرى كبيان (DGAC) بحاسبها (TARMAAC)
التردد المرتكم من المقاربة المركز فقط على الاستهلاك دون الأخذ بعين الاعتبار المسافرين،
كمية (CO₂)

يمكن اختزال الترددات حول بيان الموجودات للاطراحات الملوثة للمحركات و ذلك باتخاذ أدوات مصححة و تطوير قواعد معلومات واقية. الهدف المنتظر هو وضع تقنية للبيان الموجودات و جعلها أداة و البحث من اجل حماية البيئة و السيطرة على لطاقة من طرف العلماء و المقررين .



Table des matières

| | |
|------------------------------------|--|
| Résumé | |
| Remerciements | |
| Table des matières | |
| Liste des figures | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des symboles et abréviations | |

| | |
|------------------------------------|----|
| Introduction générale | 16 |
|------------------------------------|----|



| | |
|---|----|
| Chapitre I :Généralité sur le transport aérien | 19 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| I.1. Introduction | 20 |
| I.2. Prévisions de trafic aérien..... | 21 |
| I.3. Caractéristique du transport aérien en Algérie..... | 23 |
| I.3.1. Air Algérie..... | 23 |
| I.3.1.1. Activités..... | 23 |
| I.3.1.2. Flotte :..... | 24 |
| I.3.2. Air Tassili..... | 25 |
| I.3.2.1. Réseau..... | 26 |
| I.3.2.2. Flotte..... | 26 |
| I.3.3. Evolution du trafic aérien en Algérie | 27 |
| I.4. La pollution de l'air..... | 28 |
| I.5. Impact de l'activité aérienne aux différentes échelles..... | 30 |
| I.5.1. Hétérogénéité des émissions liées au trafic aérien..... | 30 |
| I.5.2. Echelle globale..... | 32 |
| I.5.2.1. Principaux gaz à effet de serre modifiés par les émissions des aéronefs..... | 33 |
| a. Le dioxyde de carbone (CO2)..... | 33 |
| b. L'ozone..... | 34 |
| c. Le méthane..... | 34 |
| d. Formation de traînées de condensation ("contrails")..... | 34 |
| I.5.3. Echelle régionale | 35 |





| | |
|---|----|
| I.5.4. Echelle locale..... | 35 |
| I. 5.4.1. Etude en milieu aéroportuaire et dans son environnement immédiat..... | 35 |
| I.5.4.2. Analyse des réactions dans le panache de l'avion..... | 36 |
| I.5.4.3. Evaluation des risques sanitaires liés à l'activité aéroportuaire..... | 36 |
| I.5.4.4. Evaluation des nuisances olfactives liées à l'activité aéroportuaire..... | 38 |
| I.6. Sources d'émission aéroportuaire..... | 39 |
| I.6.1. Le cycle LTO..... | 39 |
| I.6.2. Le groupe auxiliaire de puissance des aéronefs..... | 41 |
| I.6.3. Les sources mobiles..... | 41 |
| I.6.4. Les sources fixes..... | 41 |
| I.7. Le bilan des émissions aéroportuaires..... | 41 |
| I.8. Emissions liées à la combustion par les moteurs d'avion..... | 42 |
| I.8.1. Variabilité des facteurs d'émission..... | 42 |
| I.8.2. Spécification des hydrocarbures émis par les moteurs d'avion..... | 45 |
| I.8.3. Spéciation des hydrocarbures contenus dans les carburants..... | 46 |
| I.9. Les impacts actuels et futurs de l'aviation subsonique sur le forçage radiatif et le rayonnement UV..... | 48 |

Chapitre II : Méthodologie et techniques d'inventaires.....

| | |
|---|----|
| II.1. Introduction aux inventaires d'émissions..... | 52 |
| II.2. Les polluants réglementés en aviation | 53 |
| II.3. Méthodologie et calcul selon l'OACI..... | 55 |
| II.3.1. L'utilisation de la base de données..... | 55 |
| II.3.2. Normes de normalisation..... | 56 |
| II.3.2.1. Fumée..... | 56 |
| II.3.2.1.1. Application..... | 56 |
| II.3.2.1.2. Indice de fumée réglementaire..... | 56 |
| II.3.2.2. Émissions gazeuses..... | 56 |
| II.3.2.2.1. Application..... | 56 |
| II.3.2.2.2. Niveaux réglementaire..... | 57 |
| II.4. Calculateur d'émission de carbone d'ICAO..... | 59 |
| II.4.1 Procédure de calcul..... | 59 |
| II.5. Détermination des émissions de CO2 | 64 |
| II.5.1. Choix de la méthode | 64 |
| II.5.2. Consommation de carburant..... | 65 |
| II.5.3. Formule de calcul..... | 66 |
| II.5.4. Exigences en matière de quantification..... | 67 |
| II.5.5. Densité du carburant..... | 67 |
| II.5.6. Facteur d'émission..... | 68 |





Chapitre III : Constitution de la base de données



| | |
|--|----|
| III.1. Introduction..... | 70 |
| III.2. Constitution de la base de données..... | 70 |
| III.2.1. Parc aérien | 70 |
| III.2.2. Consommation en carburant | 73 |
| III.2.3. Le but de l'application | 74 |
| III.3. Manipulation de l'application..... | 76 |
| III.3.1. La saisie de nouvelles données | 77 |
| III.3.2. Visualiser les bases de données..... | 79 |
| III.3.3. Consulter les graphes..... | 80 |

Chapitre IV : Inventaire des émissions polluantes



| | |
|---|-----|
| IV.1. Introduction..... | 84 |
| IV.2. Bilan des émissions moteur..... | 85 |
| IV.2. 1. Les émissions liées au cycle LTO..... | 85 |
| IV.2. 1. 1. Emission par appareil..... | 85 |
| IV.2. 1. 2. Emission par compagnie..... | 89 |
| IV.2. 2. Les émissions en CO2 et en H2O..... | 93 |
| IV.2.2.1. La consommation en carburant..... | 93 |
| IV.2.2.2. Les émissions liées à la consommation..... | 95 |
| IV.2.3. Bilan total des émissions moteur..... | 96 |
| VI.3. Comparaison avec l'inventaire du CDG avec sont calculateur TARMAAC..... | 98 |
| IV.3.1. Bilan des émissions gazeuses liées au trafic aérien Aéroport de Pris-Charles de Gaul..... | 99 |
| IV.3.1.1. Emissions en CO2..... | 99 |
| IV.3.1.2. Autres gaz..... | 100 |
| IV.4. Les options pour réduire les émissions et leurs effets..... | 100 |
| IV.4.1. Options de technologie des aéronefs et des moteurs..... | 101 |
| IV.4.2. Options de carburants..... | 102 |
| IV.4.3. Options opérationnelles..... | 103 |
| IV.4.4. Options réglementaires, économiques et autres..... | 104 |

| | |
|---------------------------------|------------|
| Conclusion générale..... | 107 |
|---------------------------------|------------|







Liste des figures

| | | |
|--------------------------|---|----|
| Figure(I.1) | : Les prévisions du trafic aérien en 2030..... | 22 |
| Figure(I.2) | : Prévisions de trafic de passager des régions statistique de l'OACI..... | 22 |
| Figure (I.3) | : Passagers transportés (Air Algérie, Vol régulier 2010)..... | 24 |
| Figure (I.4) | : l'accoisement du trafic aérien algérien entre 1996 et 2002..... | 27 |
| Figure (I.5) | : Evolution du trafic aérien civil | 28 |
| Figure (I.6) | : Evolution annuelle du nombre de vols et des émissions des NOx (a) et d'hydrocarbures (b)..... | 29 |
| Figure (I.7) | : Distribution des émissions par les avions en fonction de l'altitude..... | 30 |
| Figure (I. 8) | : Distribution géographique des émissions des NOx par les avions..... | 31 |
| Figure (I.9) | : Représente les zones les plus polluées en CO ₂ sur le globe terrestre..... | 32 |
| Figure (I.10) | : Représentation schématique des émissions d'avions et leur impact sur le climat | 39 |
| Figure (I.11) | : Schéma du cycle de décollage et d'atterrissage LTO | 40 |
| Figure (I.12) | : Répartition en pourcentage en émissions aéroportuaires à Paris-CDG | 42 |
| Figure (I.13) | : Facteur d'émission des NOx et de CO | 43 |
| Figure (I.14) | : Rapport à l'émission des hydrocarbures totaux..... | 45 |
| Figure (I.15 a,b) | : Emissions par des espèces par nombre de carbone à 7 % et 61 % du régime moteur. | 46 |
| Figure (I.16) | : Répartition massique d'alcanes pour l'essence, le gasoil et le jet fuel..... | 47 |
| Figure(II.1) | : Diagramme du calculateur de CO ₂ de l'OACI..... | 49 |
| Figure(III.1) | : Consommation en carburant de TAL entre 2006 et 2010..... | 60 |
| Figure(III.2) | : Consommation en carburant de Air Algérie entre 2006 et 2010..... | 73 |



| | |
|---|----|
| Figure (III.3) : Schéma synoptique de l'application..... | 74 |
| Figure (III. 4) : Interface d'accès à l'application | 75 |
| Figure (III. 5) : Interface de présentation..... | 76 |
| Figure (III.6) : Menu principale..... | 77 |
| Figure (III. 7) : Choix des données à saisir..... | 77 |
| Figure (III. 8) : Interface de données sur appareils..... | 78 |
| Figure (III. 9) : Interface de données sur moteurs..... | 78 |
| Figure (III. 10) : visualisation de la base de données..... | 79 |
| Figure (III.11) : Matricule appareils..... | 80 |
| Figure (III.12) : Choix des graphes..... | 81 |
| Figure (IV. 1) : Les émissions du 737-800 de TAL selon le cycle LTO (CFM56 7B27/3) | 85 |
| Figure (IV. 2) : Les émissions du 737-800 de Air Algérie selon le cycle LTO (CFM56 7B27)..... | 86 |
| Figure (IV. 3) : Les émissions du 737-800 de Air Algérie selon le cycle LTO (CFM56 7B24)..... | 86 |
| Figure (IV. 4) : Les émissions du 737-600 de Air Algérie selon le cycle LTO (CFM56 7B22)..... | 87 |
| Figure (IV. 5) : Les émissions du A330-200 de Air Algérie selon le cycle LTO (GE CF6680E2A4)..... | 87 |
| Figure (IV. 6) : Les émissions du B767-300 de Air Algérie selon le cycle LTO (GE CF6680C2B2F)..... | 88 |
| Figure (VI. 7) : Les émissions du 737-600 pour la période 2009- 2011..... | 89 |
| Figure (VI. 8) : Les montants des rejets d'Air Algérie pour 2009..... | 89 |



| | |
|---|-----|
| Figure (VI. 9) : Les montants des rejets d'Air Algérie pour 2010..... | 90 |
| Figure (VI. 10) : Les montants des rejets d'Air Algérie pour 2011..... | 90 |
| Figure (VI. 11) : Les émissions de la flotte Air Algérie pour la période 2006- 2011..... | 91 |
| Figure (IV.12) : la part des polluants d'Air Algérie de 2009à 2011..... | 91 |
| Figure (VI.13) : Les montants des rejets d'Air Algérie pour 2009 et 2010..... | 92 |
| Figure (VI. 14) : Les montants des rejets d'Air Algérie pour 2011..... | 92 |
| Figure (IV.15) : La part des polluants d'Air TAL de 2009 à 2011..... | 93 |
| Figure (VI. 16) Consommation en carburant de 2006 à 2011(TAL)..... | 94 |
| Figure (VI .17) : Consommation en carburant de 2006 à 2010. (Air Algérie)..... | 94 |
| Figure (IV. 18) : Bilan de CO2 d'Air Algérie selon la consommation..... | 95 |
| Figure (IV. 19) : Bilan de CO2 de TAL selon la consommation..... | 96 |
| Figure (VI. 20) : Bilan des émissions LTO..... | 97 |
| Figure (VI. 21) : Les émissions totales LTO pour la période 2006- 2011..... | 97 |
| Figure (VI. 22) : Bilan des émissions CO2 et en vapeur d'eau..... | 98 |
| Figure (IV. 23) : Bilan de CO2 selon plusieurs paramètres..... | 99 |
| Figure (IV. 24) : Bilan des autres polluants..... | 100 |
| Figure (IV.25) : Options pour réduire les émissions jusqu'à 2050..... | 105 |



Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau (I.1) : Hypothèses exprimées en taux de croissance annuel moyen..... | 21 |
| Tableau(I.2) : Flotte Air Algérie..... | 25 |
| Tableau(I.3) : Flotte Air Tassili..... | 26 |
| Tableau(I.4) : les seuils réglementaires fixés par le décret 2002-213..... | 33 |
| Tableau (I.5) : Analyse des résultats de l'apprentissage du modèle sélectionné..... | 40 |
| Tableau (I.7) : Caractéristiques générales du jet fuel, de l'essence sans plomb et du diesel | 47 |
| Tableau(II.1) : Les substances réglementées..... | 54 |
| Tableau (II.2) : Facteurs d'émission pour les carburants d'aviation..... | 68 |
| Tableau (III.1): Parc aérien algérien..... | 71 |



Liste d'acronymes et abréviations

| | |
|----------------|---|
| GIEC | : Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat |
| PIB | :Produit Intérieur Brut |
| CO2 | : Dioxyde de carbone |
| N2O | :Dioxyde d'Azote. |
| O3 | : Ozone. |
| CH4 | :Méthane. |
| HFC | : Hydrofluorocarbure |
| PFC | :Per fluorocarbure. |
| SF6 | :Hexafluorure de soufre |
| PRG | : Pouvoir de Réchauffement Global. |
| AMSD | :Airlines Multilateral schedules database. |
| GCD | : Great Circle Distance. |
| EIG | : Emission Inventory guidebook |
| PKT | : Passenger kilomètre Transporté. |
| OACI | : Organisation d'Aviation Civile Internationale. |
| SKO | : Siège Kilomètre Offert. |
| TAA | : Tassili Agro Airlines |
| TAL | :Tassili Airlines |
| SAGE | : System for Assessing Aviation's Global Emissions |
| COV | : Composant Organique Volatil. |
| ADMS | : Air Dispersion Model |
| CRETEIL | :Centre de Recherche, Espace, Transport Environnement et Institutions Locales |
| LTO | : Landing and Take-Off. |



| | |
|------------------------------|---|
| APU | :Auxiliary Power Unit |
| GSE | :Ground Support Equipment |
| DGAC | :Direction Générale de l'Aviation Civile |
| CITEPA | : Centre interprofessionnel technique d'Etude de la Pollution Atmosphérique |
| UV | :Ultra violet |
| CAEP | :(ICAO) Committee on Aviation and Environmental Protection |
| ISA | : International Standard Atmosphere |
| <i>D_p</i> | :Masse de tout polluant gazeux émis au cours d'un cycle LTO |
| <i>F_n</i> | :Poussée dans les conditions de l'atmosphère type internationale (ISA) |
| <i>F_{oo}</i> | :Poussée nominale |
| HC | :Hydrocarbures non brûlés (voir définition) |
| SN | :Indice de fumée (voir définition) |
| <i>oo</i> | :Rapport de pression de référence (voir définition) |
| BDE | :Borland Database Engine. |
| COV | : Composants Organiques Volatils |
| COVNM | :Composants Organiques Volatils Non Méthanique |
| EEC | : Engine Emission Calculator |

Introduction

Introduction générale



Introduction générale

Le présent travail évalue l'effet des aéronefs sur le climat et l'ozone atmosphérique; c'est le premier rapport qui sera réalisé sur un sous-secteur industriel particulier qui est le transport aérien.

Il a été élaboré par l'IAB avec le concours des compagnies aériennes Air Algérie et Air Tassili relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, à la suite de la création d'une application qui fait l'objet d'un calculateur des émissions moteurs et ce à la demande présentée par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) à cause de l'impact potentiel des émissions de l'aviation. Celles-ci sont les émissions anthropogènes prédominantes déposées directement dans la haute troposphère et la basse stratosphère.

L'aviation a connu une expansion rapide en parallèle avec la croissance de l'économie mondiale. Le trafic de passagers (exprimé en passagers-kilomètres payants) a augmenté depuis 1960 de près de 9 pour cent par an, 2-4 fois le taux de croissance moyenne du Produit intérieur brut (PIB). Le trafic de fret, transporté à raison de 80 pour cent environ par des avions de transport de passagers, s'est aussi développé dans le même temps. Le taux de croissance du trafic de passagers a ralenti, l'industrie de l'aviation arrivant à sa maturité, pour s'établir à 5 pour cent environ en 1997.

Les émissions totales de l'aviation ont augmenté, car la demande accrue de transport aérien a progressé plus vite que les réductions dans les émissions spécifiques dues à des améliorations constantes de la technologie et des procédures opérationnelles. S'il n'y a pas de restrictions à la demande, il est à prévoir que le trafic de passagers augmenterait à des taux supérieurs à ceux du PIB durant la période évaluée dans le présent rapport.

Les effets de l'aviation d'aujourd'hui et d'un éventail de projections de croissance de l'aviation (comprenant passagers, fret et militaires), en l'absence de restrictions, sont examinés dans le présent rapport. Le rapport décrit aussi la situation actuelle de la technologie des aéronefs, des procédures opérationnelles et des options pour atténuer l'impact futur de l'aviation sur l'atmosphère planétaire. Le rapport n'examine pas les effets

environnementaux locaux des émissions de moteurs d'aéronefs, ni les effets environnementaux indirects de l'activité de l'aviation, par exemple l'utilisation d'énergie par les transports au sol dans les aéroports. Néanmoins, on parlera de ces sources mobiles dans les plates formes aéroportuaires.

Les principales émissions des aéronefs comprennent les gaz à effet de serre dioxyde de carbone et vapeur d'eau (H₂O). D'autres émissions majeures sont l'oxyde d'azote (NO), le dioxyde d'azote (NO₂) (qui ensemble sont appelés NO_x), les oxydes de soufre (SO_x) et la suite.

La quantité totale de carburants aviations brûlé, ainsi que les émissions totales de dioxyde de carbone, NO_x et vapeur d'eau par les aéronefs, sont bien comprises comparativement à d'autres paramètres importants dans l'évaluation.

Les impacts climatiques des gaz et particules émis et formés à cause de l'aviation sont plus difficiles à quantifier que les émissions; ils peuvent toutefois se comparer les uns avec les autres et avec les effets climatiques d'autres secteurs, par application du concept de forçage radiatif . Comme le dioxyde de carbone a une longue durée de résidence dans l'atmosphère (100 ans) et de ce fait se propage bien dans toute l'atmosphère, les effets des émissions de dioxyde de carbone venant des aéronefs ne peuvent se distinguer de la même quantité émise par une autre source.

Les autres gaz (par exemple NO_x, SO_x, vapeur d'eau) et particules ont des durées de résidence plus courtes et restent concentrés à proximité des itinéraires de vol, principalement dans les moyennes latitudes de l'hémisphère Nord.

Ces émissions peuvent mener à un forçage radiatif se situant régionalement à proximité des itinéraires de vol dans le cas de certains composants (par exemple ozone et traînées de condensation), à la différence des émissions qui se propagent dans le monde (par exemple dioxyde de carbone et méthane).

Le changement climatique moyen dans le monde est assez bien représenté par le forçage radiatif moyen dans le monde, par exemple si on évalue les contributions de l'aviation à l'élévation de la température moyenne dans le monde ou du niveau de la mer.

Toutefois, du fait que certaines des principales contributions de l'aviation au forçage radiatif se situent surtout dans les moyennes latitudes de l'hémisphère Nord, la réaction du climat régional pourra différer de celle qui résulte d'un forçage radiatif moyen à l'échelle mondiale. L'impact des aéronefs sur le climat régional pourrait être important mais n'a pas été évalué dans le présent rapport pour le manque de source d'information.

Chapitre I

Généralité sur le transport aérien



I.1. Introduction

Les questions d'environnement sont aujourd'hui devenues essentielles dans un monde caractérisé par la mobilité des individus et où il est de plus en plus question de la contribution des gaz à effet de serre sur le changement climatique. Si depuis la fin du XIXe siècle, la terre s'est réchauffée de 0,3° à 0,6° et le niveau des océans s'est élevé de 10 à 25 cm, d'après le Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), et selon différents scénarios liés au développement de la société, le réchauffement pourrait atteindre 1 à 3,5°C d'ici à 2100.

Ce qui provoquerait une élévation du niveau des mers de 15 à 95 cm, entraînant des sécheresses et des inondations plus sévères, ainsi que des tempêtes plus fréquentes. Du fait de son développement exponentiel, l'aviation se retrouve aujourd'hui au cœur de cette problématique. Sur les 20 dernières années et malgré la crise actuelle, le taux de croissance mondial du trafic aérien exprimé en passagers kilomètres est deux fois supérieur à celui du PIB.

L'avion a certes permis aux hommes de se rapprocher, aux économies d'émerger et de prospérer. Cependant, il n'est plus une semaine sans que les médias rapportent au public un certain nombre de critiques à l'égard de la pollution atmosphérique engendrée par ce même développement. La communauté internationale a ainsi identifié six gaz responsables de l'effet de serre : CO₂ – CH₄ – N₂O – HFC – PFC – SF₆.

Les NO_x (oxydes d'azote, NO et NO₂ principalement), bien que n'étant pas des gaz à effet de serre, interviennent de manière indirecte en créant de l'ozone (O₃) et en détruisant du méthane (CH₄). Cet ensemble de gaz a été défini au cours de la Conférence de Kyoto dont l'aboutissement, le protocole de Kyoto, jette les bases d'une politique globale de réduction de leurs émissions. La part de l'aviation dans les rejets totaux de gaz à effet de serre est actuellement marginale : dans son rapport "Aviation and the Global Atmosphere" (1999), le GIEC évalue les émissions de CO₂ par l'aviation à 0,14 milliard de tonnes de carbone pour l'année 1992 (soit 0,51 milliard de tonnes de CO₂). L'aviation comptait donc en 1992 dans le monde pour 2% des émissions anthropiques totales de CO₂, et 13% des émissions liées aux transports.

Toutefois, si on prend en compte l'ensemble des phénomènes physicochimico-chimiques contribuant à l'augmentation de l'effet de serre, la part de l'aviation pourrait s'élever à 3,5%. C'est pourquoi l'aviation ne reste pas à l'écart de la mobilisation mondiale contre le changement climatique, initiée sur la base du principe de précaution à Rio en 1992 puis réaffirmée en 1997 par la signature du protocole de Kyoto.

| | Trafic PKT 1990- 2050 | Consommation kérosène 1990-2050 | PIB 1990- 2100 | Population 1990-2100 | Accroissement des émissions 1990-2050 |
|----------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|----------------------|-------------------------|---|
| Scénario bas | 2,2% | 0,8% | 1,2% | 0,2% | 1 , 6 |
| Scénario médian | 3,1% | 1,7% | 2,3% | 0,7% | 2,7 |
| Scénario haut | 3,9% | 2,5% | 3,0% | 0,7% | 4,4 |

Tableau (I.1) : Hypothèses exprimées en taux de croissance annuel moyen

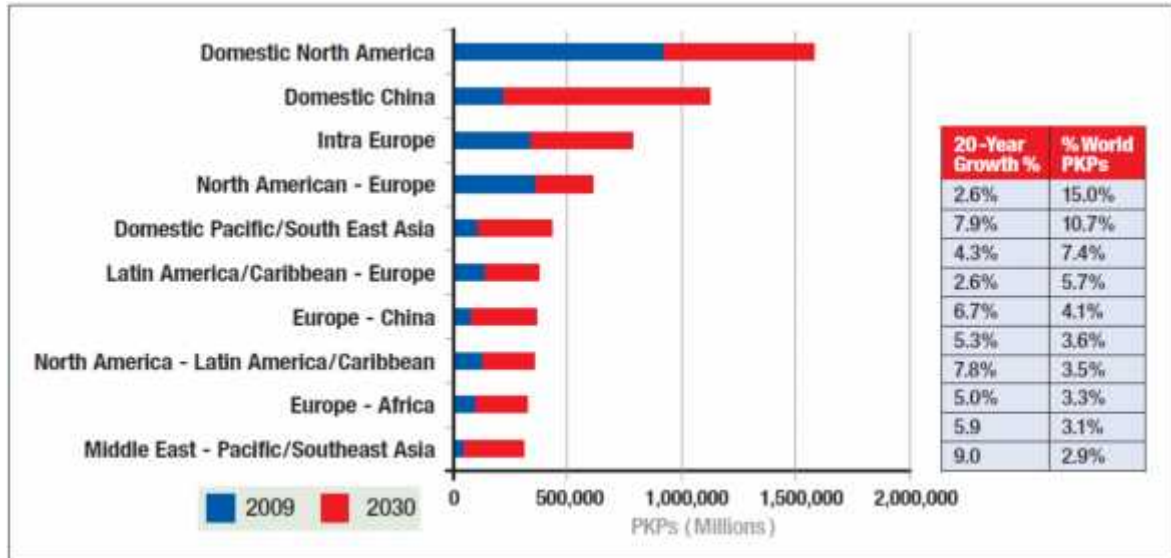
I.2. Prévisions de trafic aérien

La nouvelle méthode de prévision de l'OACI utilise des modèles économiques sophistiqués combinés avec la connaissance de l'industrie au niveau régional et global.

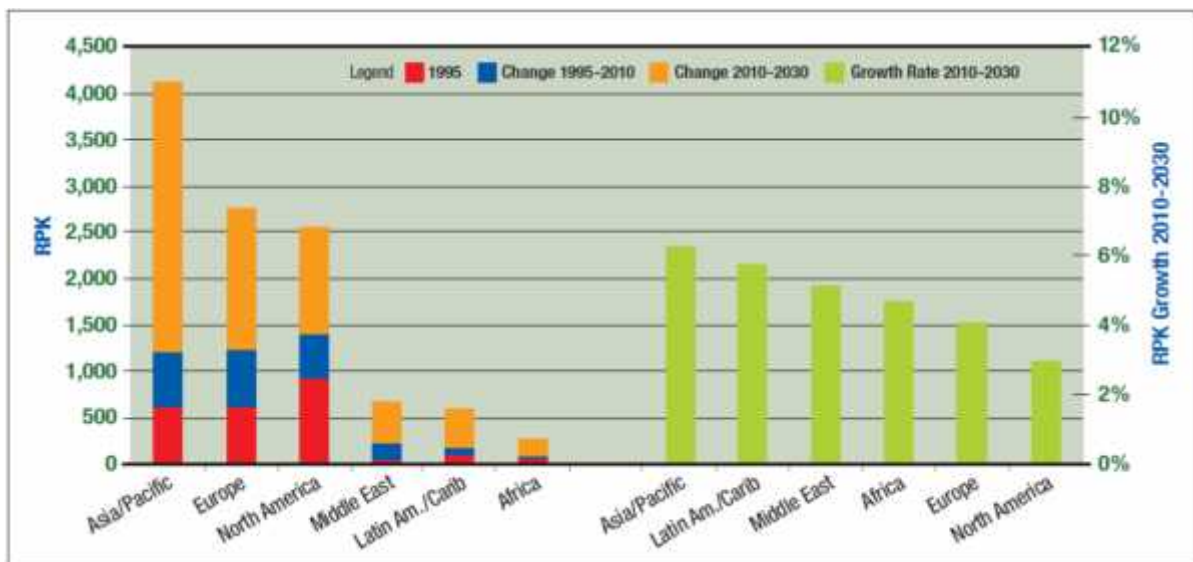
La prévision considère les deux rapports quantitatifs pour l'établissement de l'impact du développement économique sur le trafic aérien et perspicacité au sujet des facteurs conduisant à la croissance de ce trafic dans chaque région.

L'OACI a établi de ce fait une prévision du trafic aérien qui s'étant à 2030.

En conséquence, les prévisions des dix principaux marchés courants sont décrites sur le schéma suivant :



Figure(I.1) : Les prévisions du trafic aérien en 2030



Figure(I.2) : Prévisions de trafic de passager des régions statistiques de l'OACI

I.3. Caractéristique du transport aérien en Algérie

L'étendu du pays avec 2,3 millions Km² et l'enclavement de certaines région du pays tel que le Sahara, et l'augmentation des déplacements internationaux essentiellement vers l'Europe et le mouvement de migration constituent les éléments principaux du contexte dans lequel évolue le secteur des transports. Plusieurs mode de transport sont exploités pas différents opérateurs. Ces modes sont le transport routiers, le transport ferroviaire, le transport aérien et le transport maritime.

Le transport aérien bien qu'il soit faible par rapport au transport routier est d'une importance vital pour le développement de l'économie nationale il assure en effet le transport des personnes ainsi que les marchandises. En Algérie deux compagnies aériennes assurent ce moyen de transport. Bien que Air Algérie domine le marché, Tassili Airlines est la seconde compagnie grand public.

I.3.1. Air Algérie

I.3.1.1. Activités :

Le réseau couvert par Air Algérie est de 96 400 km, soit 2,4 fois le tour de la Terre. Plus de 3 000 000 de passagers et près de 20 000 tonnes de fret sont transportés chaque année par la compagnie aussi bien à travers le réseau international que le réseau domestique.

Le réseau international, dense de 45 villes desservies dans 30 pays en Europe, Moyen-Orient, Maghreb, Afrique et Amérique (Canada), est adossé à un réseau domestique reliant 31 villes. En 2003, le nombre de vols quotidiens en programme de pointe a atteint les 120 vols. De plus, Air Algérie a produit près de 5 milliards de sièges-kilomètres offerts (SKO) et a réalisé 3,3 milliards de passagers-kilomètres transportés (PKT).

De plus, la compagnie s'ouvre aux longs courriers, indispensable pour suivre le "boom" migratoire et économique du pays. Une ligne Alger-Montréal est en service depuis le 15 juin 2007. A partir de février 2009, Elle relie Alger à Pékin à bord d'un Airbus A330-200.

En 2010, Air Algérie a transporté 3 500 000 passagers

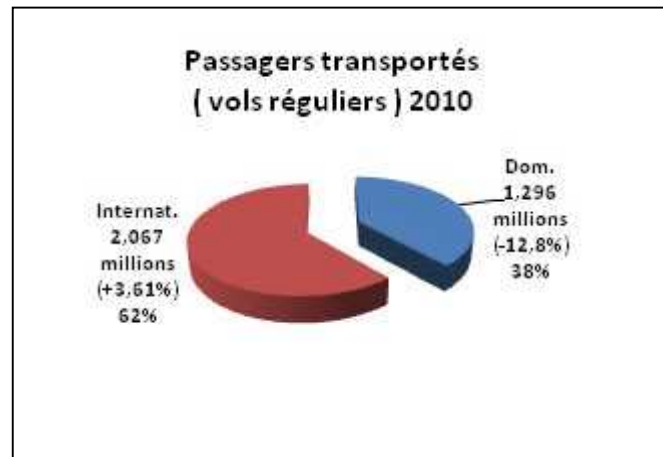


Figure (I.3) : Passagers transportés (Air Algérie, Vol régulier 2010)

En plus de la desserte des aéroports civils algériens, la compagnie Air Algérie dessert en 2011 principalement : l'Asie, l'Europe, le Moyen-Orient, l'Amérique du Nord, l'Afrique du Nord et l'Afrique de l'Ouest. Les autres activités de cette compagnie sont les suivantes :

- Des charters pétroliers avec environ 500 000 passagers par an.
- Des charters Oumra et Hajj qui transportent les pèlerins vers les lieux Saints de l'Islam.
- Un centre ou commissariat hôtelier (catering) qui permet à Air Algérie de couvrir ses besoins au départ d'Algérie, ainsi que l'assistance des autres compagnies.

Le ministre des Transports, M. Tou, a fait part de la création d'une filiale d'Air Algérie pour la couverture des lignes intérieures et envisage d'acquérir 11 autres appareils.

I.3.1.2. Flotte :

En juillet 2011, les chiffres exacts concernant la flotte d'Air Algérie n'étaient pas connus. Le site officiel indique 33 avions en activité, dont deux cargos, le tout d'un âge moyen de 5 ans (chiffre à priori pas mis à jour depuis 2008). Le site *airfleets* indiquait 42 appareils actifs, plus 13 en garage, le détail étant : _

| Avion | Nb d'avion | Stockés | Commandes |
|-----------------|------------|-----------|-----------|
| Airbus A310-200 | | 2 | |
| Airbus A330-200 | 5 | | |
| Boeing 737-200 | | 10 | |
| Boeing 737-600 | 5 | | |
| Boeing 737-800 | 17 | | |
| Boeing 767-300 | 3 | | |
| ATR72-500 | 11 | 1 | |
| Beechcraft 1900 | 1 | | |
| Total | 42 | 13 | |

Tableau(I.2) : Flotte Air Algérie

I.3.2. Air Tassili

Tassili Airlines (indicatif : DTH) a été créée en 1997 et effectua ses premiers vols en avril 1999. Le capital est détenu à 100% par la compagnie pétrolière Sonatrach. Après le rachat des actions que détenait Air Algérie (indicatif : DTA) dans Tassili Airlines, Sonatrach a décidé de restructurer la compagnie Tassili Airlines en un groupe aérien qui dispose de trois filiales :

- Naftatassili Air, qui s'occupe du transport des travailleurs du secteur à partir des gisements d'hydrocarbures,
- Tassili Airlines, qui s'occupe du transport public domestique et international, de passagers et de marchandises,
- Tassili Agro Airlines (TAA), filiale de Tassili Airlines, qui s'occupe du travail aérien. En octobre 2010 une convention a été signée avec le ministère de la santé algérien pour la fourniture d'équipages et d'avions capables d'assurer des évacuations sanitaires depuis le grand sud algérien vers les hôpitaux du nord du pays, pour la prise en charge des pathologies graves (cancer, blessures graves ...).

En outre, l'école algérienne prive Aures Aviation va former la phase théorique CPL(A) en Algérie et la pratique au USA pour le compte de Tassili Airlines 47 pilotes avions qui intégreront la branche Tassili Agro Aérien 'TAA'et Tassili Airlines 'TAL'.

I.3.2.1. Réseau

Adrar (AZR), Alger (ALG), Arzew (RTO), Annaba (AAE), Bejaia (BJA), Djanet (DJG), Biskra (BSK), Constantine (CZL), El Borma (BRM), El Golea (ELG), El Oued (ELU), Ghardaia (GHA), Hassi Messaoud (HME), Hassi R'mel (HRM), Oran (ORN), Ouargla (OGX), Illizi (VVZ), In Amenas (IMN), In Salah (INZ), Krechba, Skikda (SKD), Sétif (QSF), Tamanrasset (TMR), Tebessa (TEE), Touggourt (TGR), Tlemcen (TLM), Tin Fouyé (TFT), Rouhd Nouss (RHN).

I.3.2.2. Flotte

La flotte de Tassili Airlines est représentée sur le tableau ci-dessous :

| Avion | Nb d'avion | Stockés | Commandes |
|-----------------|------------|---------|-----------|
| Dash8-Q400 | 4 | | |
| Dash8-Q200 | 4 | | |
| Pilatus PC-06 | 5 | | |
| Cessna | 4 | | |
| Boeing 737-800 | 2 | | 4 |
| Bell hélicopte | 7 | | |
| Alouette SA316B | 2 | | |
| Beechcraft 1900 | 3 | | |
| Total | 31 | | |

Tableau(I.3) : Flotte Air Tassili

Le marché a été attribué par Tassili Airlines, la compagnie aérienne, filiale à 100% de SONATRACH, à l'issue d'une ouverture des plis pour les offres commerciales. Il s'agit de la fourniture de 4 avions Boeing 737-800 d'une capacité de 150 places, d'un montant de 228,49 millions de dollars. Le constructeur brésilien Embraer a été éliminé de cette sélection, ainsi qu'Airbus et Bombardier. Le dernier marché consistant en l'acquisition de 2 appareils d'une capacité de 70 places a été déclaré infructueux. Embraer et Bombardier se disputaient ce

contrat. Le président de la commission chargée de l'organisation de l'ouverture des plis a expliqué que les offres des concurrents ne répondaient pas aux spécifications exigées par Tassili Airlines (Tal). Les délais de livraison sont fixés entre 18 et 30 mois à la date de signature du contrat. Pour les modules de 150 places notamment, les délais sont compris entre 18 et 24 mois. De façon générale, les appareils seront réceptionnés en 2012.

I.3.3. Evolution du trafic aérien en Algérie

Les projections démographiques et perspectives de développement des pays en développement seront responsables d'un fort accroissement du transport. Cette aspiration à la modernisation et au développement a inévitablement fait croître le trafic aérien tel qu'il est illustré sur le schéma suivant d'après des données entre 1996 et 2002

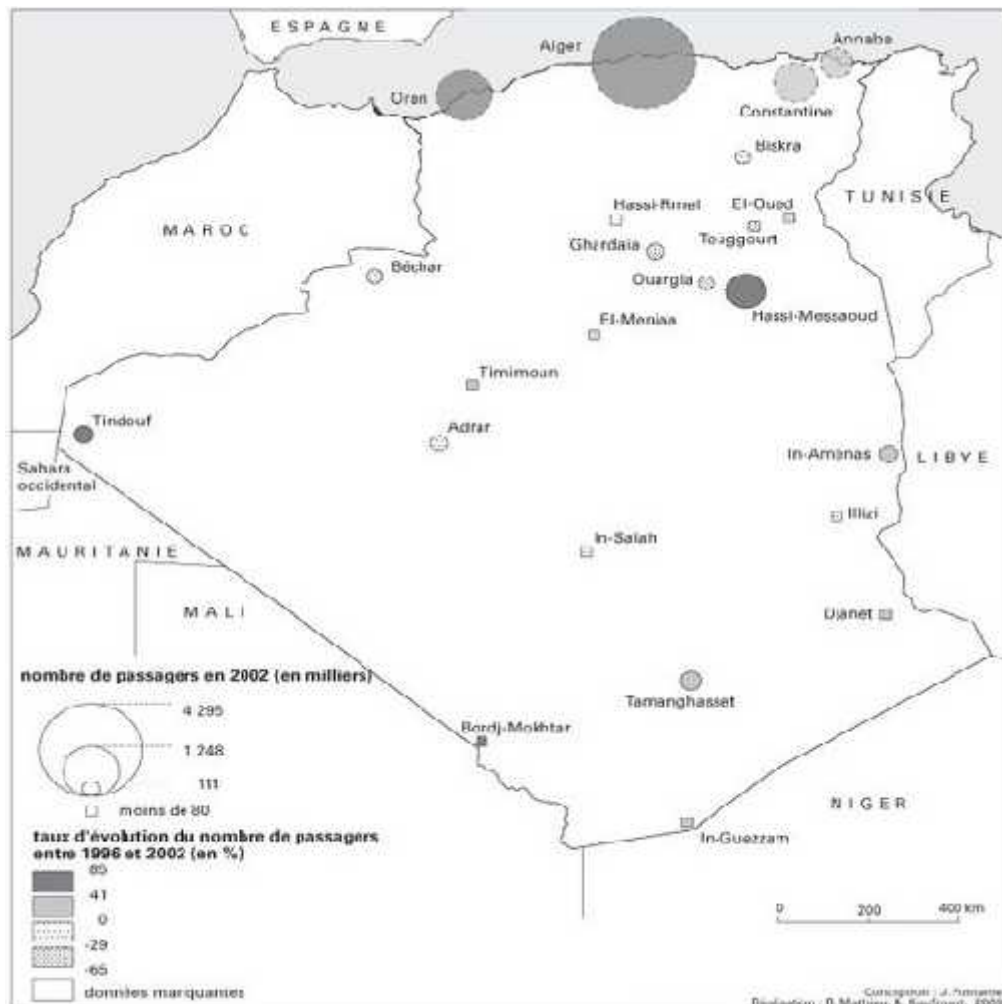


Figure (I.4) : l'accroissement du trafic aérien algérien entre 1996 et 2002

I.4. La pollution de l'air

Le trafic aérien et la plupart des activités aéroportuaires émettent dans l'atmosphère des polluants primaires tels que les NOx, le CO, le CO₂, le SO₂, les hydrocarbures ainsi que des particules (ou fumée).

Depuis les années 60 le trafic aérien civil mondial connaît une croissance moyenne annuelle de l'ordre de 4 à 6 % . La figure (I.5) présente l'évolution de ce trafic. Cette croissance tend à fléchir, puisque dans les années 70, l'augmentation du trafic aérien était de l'ordre de 15 %/an alors qu'elle était de 5 %/an dans les années 2000. L'augmentation du trafic aérien a de fait conduit à l'augmentation des émissions associées à ce secteur d'activité. La figure (I.6a) présente l'évolution annuelle des vols et des émissions des NOx par l'aviation depuis les années 2000 . Cette figure met en évidence l'augmentation des émissions des NOx avec la croissance du nombre de vols. Cependant, l'augmentation des émissions est plus modérée que celle du trafic aérien, suite à l'amélioration de la technologie des moteurs et des conditions opérationnelles.

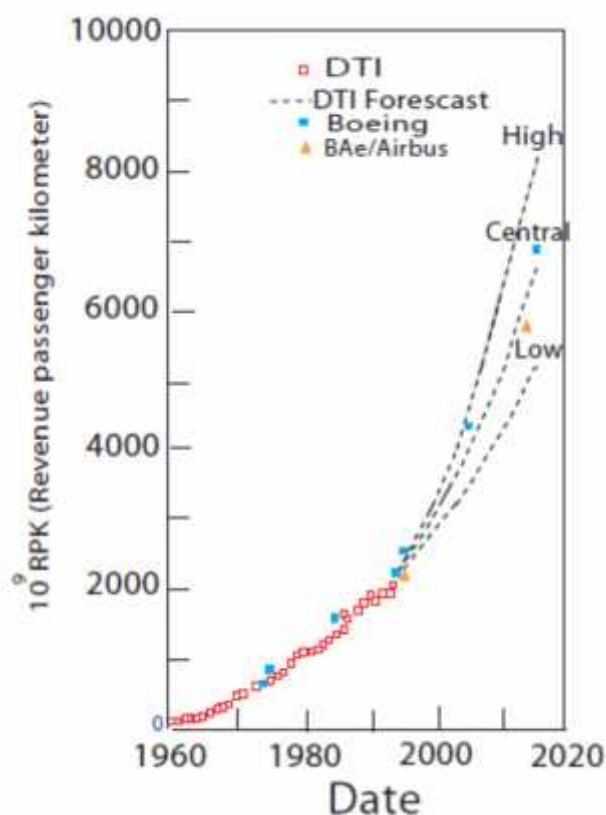


Figure (I.5) : Evolution du trafic aérien civil

La figure présente trois estimations au-delà des années 2000 : "haute" (+5,9 %), "moyenne" (+4,8 %), et "basse" (+3,6 %).

La figure (I.6b) présente l'évolution annuelle des vols et des émissions d'hydrocarbures par l'aviation depuis l'année 2000.

Contrairement aux émissions des NOx, les émissions d'hydrocarbures ne sont pas en directe relation avec le nombre de vols. En effet, les émissions d'hydrocarbures sont plus sensibles aux variations du processus de combustion au sein du réacteur, notamment celles liées au régime du moteur.

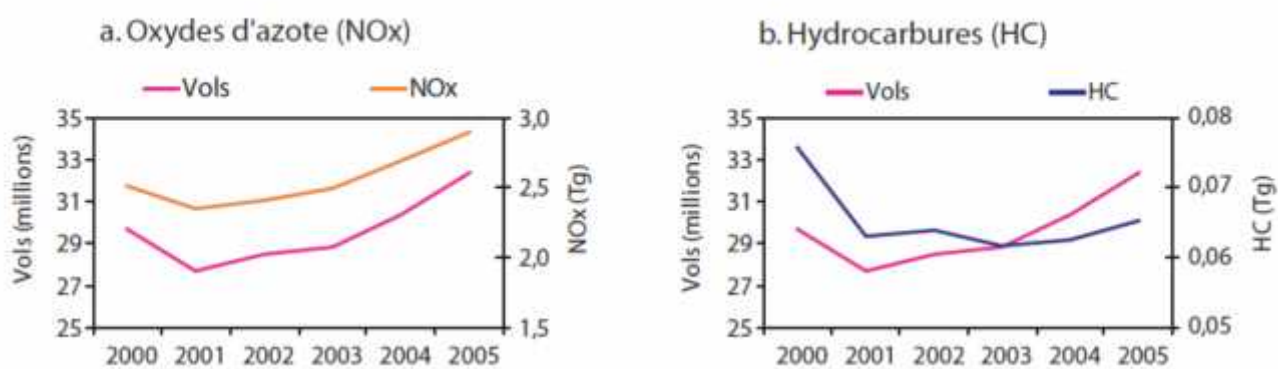


Figure (I.6) : Evolution annuelle du nombre de vols et des émissions des NOx (a) et d'hydrocarbures (b) au niveau global.

Les figures ont été construites d'après les résultats du modèle SAGE (System for Assessing Aviation's Global Emissions) développé pour estimer la consommation de carburant et les émissions des avions à l'échelle globale.

Pour chacun des avions, il est possible de calculer un flux de pollution spécifique pour les polluants suivants :

- Le dioxyde de carbone
- Le monoxyde de carbone
- Les oxydes d'azote
- Les hydrocarbures

Au sol, les moteurs tournent au ralenti, le problème est alors celui de la combustion incomplète (émission de CO et d'hydrocarbures imbrûlés). Au décollage, les moteurs tournent à leur puissance maximale d'où une émission majoritaire en oxydes d'azote

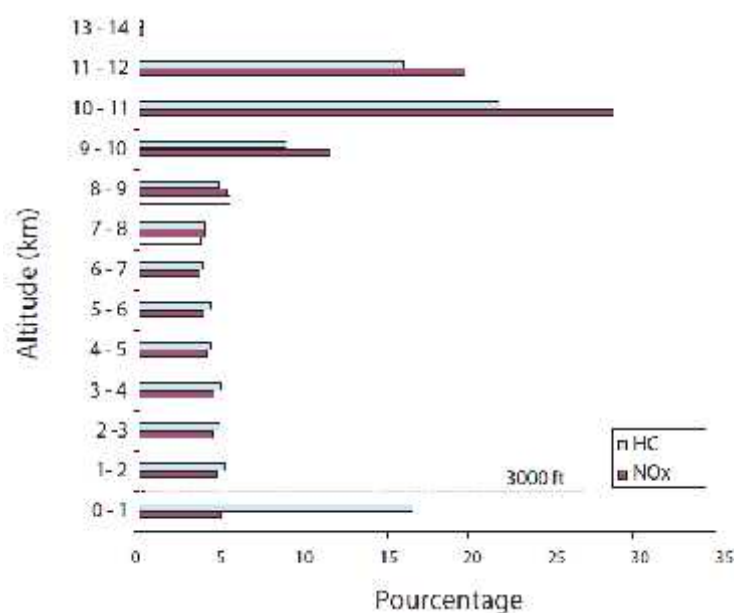
I.5. Impact de l'activité aérienne aux différentes échelles

I.5.1. Hétérogénéité des émissions liées au trafic aérien

Le trafic aérien présente un caractère singulier. Ses émissions présentent en effet une distribution hétérogène en altitude et en latitude. La figure (I.7) présente la fraction des émissions totales du trafic aérien mondial pour différentes bande d'altitude. Les émissions des NOx et d'hydrocarbures entre 10 et 12 km d'altitude représentent respectivement 60 % et 47 % des masses totales émises.

A proximité du sol (altitude inférieure à 1 km), les émissions des NOx diminuent significativement et ne représentent plus que 5 %. Les émissions des hydrocarbures sont de l'ordre de 17 %.

A proximité du sol, ces émissions demeurent non négligeables du fait de la contribution des activités sur la plate-forme aéroportuaire (roulage des avions).



La figure (I.7) : Distribution des émissions par les avions en fonction de l'altitude.

La figure est le résultat du modèle SAGE (System for assessing Aviation's Global Emissions) développé pour estimer la consommation de carburant et les émissions des avions à l'échelle globale

La figure (I.8) présente la distribution géographique des émissions des NO_x par le trafic aérien à 11 km. Les émissions par les avions couvrent 60 % de la surface du globe ; ces émissions sont nettement supérieures dans l'hémisphère nord .

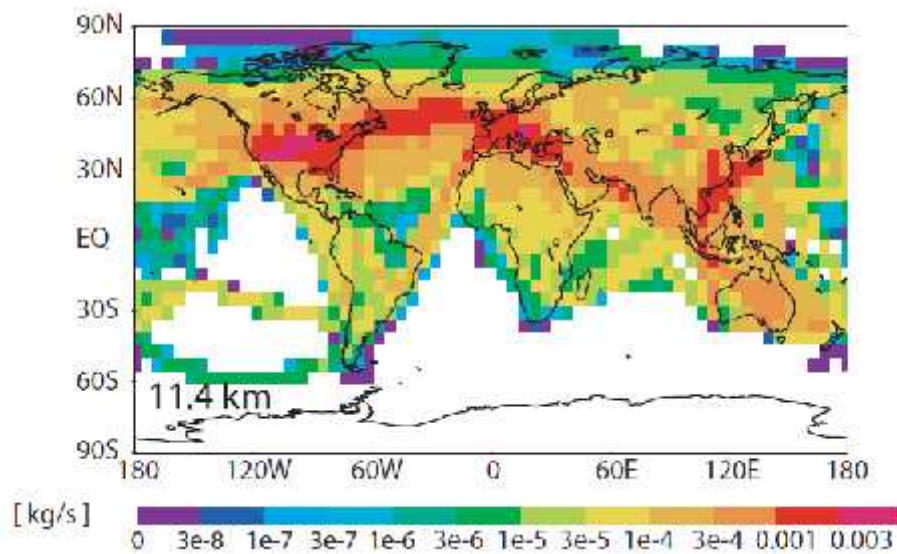
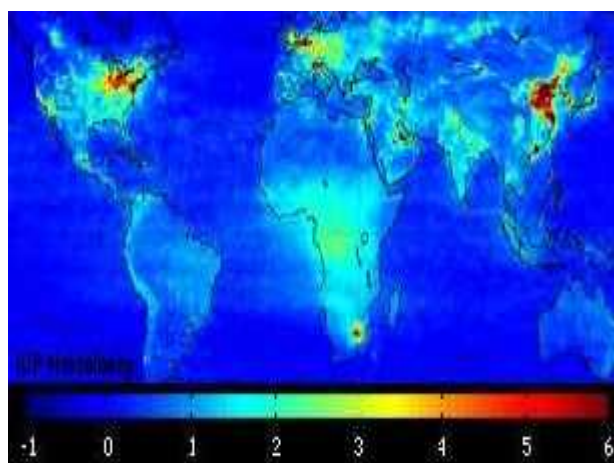


Figure (I. 8) : Distribution géographique des émissions des NO_x par les avions.

La figure est résultat du modèle p-TOMCAT ont été utilisés pour estimer l'impact des émissions des Nox par le trafic aérien mondial. Cette figure présente les émissions simulées à 11.4 km d'altitude.

La figure (I.9) représente les zones les plus polluées en CO₂ sur le globe terrestre où la concentration est plus importante à l'est d'Asie aux USA et l'Europe les pays où le trafic est plus dense



La figure (I.9) : représente les zones les plus polluées en CO₂ sur le globe terrestre

I.5.2. Echelle globale

Les émissions des avions participent à la destruction de la couche d'ozone. La destruction de l'ozone stratosphérique est provoquée par les émissions des NOx à haute altitude (environ 25 km). La diminution de la concentration de cette espèce demeure toutefois faible, de l'ordre de 5 ppbv/an

De plus, les émissions par les aéronefs dans la haute troposphère et la basse stratosphère modifient la concentration de gaz à effet de serre, en particulier le CO₂, l'ozone et le méthane et forment des traînées de condensation ("contrails"). Ces phénomènes ont un impact sur le changement climatique. L'IPCC estime que le transport aérien est responsable de 3,5 % du forçage radiatif total engendré par les activités anthropiques.

En France, le décret 2002-231 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et à ses effets sur la santé et sur l'environnement fixe les objectifs de qualité de l'air, les seuils d'alerte et les valeurs limites pour des polluants considérés comme prioritaires dans le domaine de la pollution atmosphérique.

Le tableau (I.4) présente les seuils réglementaires fixés par ce décret. Le décret 2002-213 défini :

- *L'objectif de qualité* : niveau fixé afin d'éviter à long terme des effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble.

- *Le seuil de recommandation et d'information* : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population.
- *Le seuil d'alerte* : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine.

| Polluant | Objectif de qualité | Seuil de recommandation et d'information | Seuil d'alerte |
|-----------------|--|--|--|
| O ₃ | Seuil de protection de la santé : 110 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur 8 heures Seuil de protection de la végétation : 65 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur 24 heures, 200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne horaire | 180 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne horaire | 240 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne horaire, déclenchant des mesures en cas de dépassement pendant trois heures consécutives |
| NO ₂ | En moyenne annuelle : 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ | 200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne horaire | 400 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne horaire 200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne horaire si dépassement de ce seuil la veille, et risque de dépassement de ce seuil le lendemain |
| SO ₂ | En moyenne annuelle : 50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ horaire | 300 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne horaire | 500 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne horaire sur trois heures consécutives |
| Benzène | 2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne annuelle | | |
| Plomb | 0,25 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne annuelle | | |
| PM10 | 30 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne annuelle | 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur 24 heures | 1125 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur 24 heures |

Tableau(I.4) : présente les seuils réglementaires fixés par ce décret. Le décret 2002-213

I.5.2.1. Principaux gaz à effet de serre modifiés par les émissions des aéronefs

a. Le dioxyde de carbone (CO₂).

Le CO₂ une espèce stable dans l'atmosphère (son temps de vie est de l'ordre de 100 ans). De ce fait, la distribution de la concentration de cette espèce est homogène et l'altitude des émissions n'est pas un facteur prépondérant. L'émission de CO₂ par l'aviation représente 2 % des émissions anthropiques.

b. L'ozone.

L'ozone est formé par les émissions des NOx des avions. L'efficacité de la production de l'ozone augmente avec l'altitude. L'ozone est produit de manière plus efficace dans l'hémisphère sud, où l'atmosphère est plus "propre". Cette variation géographique est toutefois compensée par le fait que le trafic aérien est plus dense dans l'hémisphère nord

c. Le méthane.

L'ozone généré indirectement par les avions participe à la réduction du temps de vie du méthane. En effet, la photolyse de l'ozone en présence de vapeur d'eau produit des radicaux OH. Ces radicaux vont par la suite réagir avec le méthane selon



Et ainsi réduire le temps de vie de cette espèce dans l'atmosphère. Ce processus est particulièrement efficace quand l'ozone est transporté vers les basses altitudes et latitudes où la vapeur d'eau et l'ensoleillement sont importants. Les effets radiatifs de l'ozone troposphérique et du méthane sont du même ordre de grandeur et de sens opposé ; toutefois, ils ne s'annulent pas pour autant.

En effet, l'hétérogénéité en altitude et géographique des émissions ainsi que la nature des espèces émises, en particulier leur temps de vie, ont pour conséquence un forçage radiatif différent en latitude. Par exemple, la modification de la concentration de l'ozone intervient particulièrement dans l'hémisphère nord, générant un impact centré sur cette zone. En revanche, la modification de la concentration du méthane ou bien du CO2 est observable à l'échelle globale.

d. Formation de traînées de condensation ("contrails")

Les "contrails" sont des nuages formés par la vapeur d'eau produite par les avions en phase de croisière. La formation de "contrails" et leur permanence dans l'atmosphère dépendent fortement des conditions thermodynamiques. Dans un air sec, les "contrails" s'évaporent rapidement. Lorsque l'air est humide et dans des régions avec un trafic aérien élevé, les "contrails" peuvent générer une couverture nuageuse importante et participer au

réchauffement de l'atmosphère. Les "contrails" présentent cependant un faible forçage radiatif positif ils couvrent 0,1 % de la surface de la terre.

I.5.3. Echelle régionale

Les émissions liées à l'activité aéroportuaire représentent en moyenne moins de 2 % des émissions anthropiques des NO_x et des COV. Du fait de l'accroissement du trafic aérien, la part relative de ses émissions devrait augmenter. Afin de quantifier l'impact de cette activité à l'échelle régionale, plusieurs études ont été conduites sur diverses zones aéroportuaires. Moussiopoulos et al. (1997) ont évalué l'influence des opérations aériennes sur la qualité de l'air de la ville d'Athènes à l'aide d'un modèle eulérien (EUMAC Zooming Model, EZM). Ce travail a mis en évidence une augmentation de la concentration des NO_x à proximité de l'aéroport. Toutefois, l'impact des émissions aéroportuaires sur la qualité de l'air au niveau régional s'est avéré limité. Un autre modèle eulérien (CHIMERE) a également été utilisé pour étudier l'impact des émissions des avions de ligne sur la pollution photo-oxydante dans la région Ile-de-France. Les résultats de ce travail indiquent que l'aviation contribue à augmenter les concentrations des NO_x et des COV sur le domaine de l'étude (région Ile-de-France), respectivement de 15,3 % et 2,1 %. Ces travaux mettent en revanche en évidence une diminution de la concentration d'ozone, due à la titration de cette espèce par le NO émis par les avions.

I.5.4. Echelle locale

I.5.4.1. Etude en milieu aéroportuaire et dans son environnement immédiat

Des modèles de panache ont été utilisés pour évaluer l'impact local de l'activité aéroportuaire. Une étude a été réalisée à l'aéroport d'Atlanta (Hartsfield-Jackson) à l'aide du modèle EDMS (Emissions and Dispersion Model System). Les résultats de cette étude montrent que l'impact moyen en ozone est de 5 ppb à proximité de l'aéroport. Ce travail conclut que les émissions de l'aéroport d'Atlanta constituent une fraction réduite des émissions totales observées sur cette zone. Une autre étude réalisée sur l'aéroport de Manchester avec le modèle ADMS (Air Dispersion Model) montre que les NO_x sont émis majoritairement par le trafic routier associé à l'activité aéroportuaire. Les résultats du modèle montrent également qu'au-delà de 200 m des pistes, la contribution des émissions par les

avions est minoritaire. Le modèle ADMS a également été utilisé pour quantifier la contribution temporelle et spatiale des NOx par les avions et le trafic autour de l'aéroport de Heathrow. Les résultats montrent également que les émissions des NOx liées au trafic routier autour de l'aéroport sont majoritaires face à celles du trafic aérien.

I.5.4.2. Analyse des réactions dans le panache de l'avion

Les polluants émis par les avions peuvent subir rapidement des transformations chimiques et modifier localement la composition atmosphérique. La principale réaction à cette échelle est celle qui consomme l'ozone par le NO émis directement par les moteurs d'avion ($\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$). En revanche, le NO₂ primaire émis par les avions peut former localement de l'ozone ($\text{NO}_2 + \text{h}\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}(3P)$ puis $\text{O}(3P) + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$).

De manière générale, les concentrations des NOx générés par les avions présentent des niveaux variables au sein même des aéroports. Par exemple, des quantités importantes des NOx émis lors de la phase de décollage sont observées au niveau de la piste et plus particulièrement dans la zone où les freins sont relâchés. La concentration de NO est en revanche majoritaire lors de la montée (altitude entre 150 - 915 m).

Sur les grandes plates-formes aéroportuaires, il est attendu d'observer des concentrations des NOx particulièrement élevées du fait de la fréquence importante de décollages et d'atterrissages (de l'ordre de quelques minutes).

I.5.4.3. Evaluation des risques sanitaires liés à l'activité aéroportuaire

L'aéroport de Schiphol (Amsterdam) a fait l'objet d'une étude sur les conséquences et les risques de l'activité aéroportuaire sur la santé et l'environnement. L'étude, élaborée à partir d'enquêtes, de données statistiques et de modèles, a pris en compte les facteurs suivants : le bruit, la pollution atmosphérique, l'odeur et les installations des radars au voisinage de l'aéroport. En ce qui concerne la pollution atmosphérique, les résultats montrent que la contribution des émissions par le trafic aérien (NOx, SO₂, CO, COV, particules) sur la zone autour de l'aéroport est de l'ordre de 10 %. Les résultats des enquêtes indiquent néanmoins que la population voisine de l'aéroport considère le trafic aérien comme une importante source de pollution.

Les plaintes déposées pour le bruit et pour la pollution atmosphérique sont en effet plus importantes à proximité de l'aéroport que dans les zones plus éloignées. Cependant, les résultats de cette étude ne montrent pas de lien entre les maladies cardiovasculaires et respiratoires recensées et l'aéroport de Schiphol. Il n'a pas non plus été possible de démontrer que les gênes respiratoires recensées dans la population habitant le voisinage de l'aéroport sont directement attribuables à l'activité aéroportuaire.

Des constats différents ont été faits aux abords de l'aéroport de Midway (deuxième aéroport de Chicago). L'étude réalisée sur cet aéroport suggère que les émissions liées aux avions sont responsables d'environ 10,5 % des cas de cancer. Cette étude affirme également que l'aéroport de Midway relâche plus de benzène et de formaldéhyde que les usines de Chicago.

Toutefois, ce résultat a été mis en cause par le département de la Santé de l'Illinois (USA) jugeant le nombre de données insuffisant pour conclure.

Le C.R.E.T.E.I.L (Centre de Recherche, Espace, Transport Environnement et Institutions Locales) a récemment effectué un état de l'art des connaissances scientifiques sur l'impact du trafic aérien sur la santé. Cette étude fait part du manque d'information à ce sujet ainsi que de la difficulté à isoler l'impact des aéroports, ceux-ci se localisant en général dans des zones peu isolées et souvent entourées d'importants axes routiers. Cependant, la demande de la population et des acteurs politiques pour réaliser des études sur ce sujet est forte.

En réponse à cette demande, plusieurs études épidémiologiques ont été lancées en France. Plus particulièrement, l'étude SURVOL, pilotée par l'Institut de Veille Sanitaire, qui cherche entre autres, à évaluer les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique autour des trois aéroports franciliens : Paris-Charles-De-Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget.

I.5.4.4. Evaluation des nuisances olfactives liées à l'activité aéroportuaire

L'étude de la gêne olfactive associée aux activités aéroportuaires est un sujet encore peu exploré. La gêne olfactive est pourtant, la deuxième cause de plaintes sur les zones aéroportuaires, après le bruit. De manière générale, il existe deux types d'odeurs caractéristiques à l'activité aéroportuaire : l'odeur générée par les vapeurs du kérosène (composant principale du fuel aéronautique) et l'odeur associée à la combustion par les avions. Ces odeurs peuvent être générées par des composés aromatiques, des phénols ou bien des aldéhydes.

Des études utilisant diverses méthodes ont été réalisées dans le but d'estimer l'étendue spatiale de la gêne olfactive perçue par les riverains. Sur l'aéroport d'Amsterdam, les résultats montrent que l'odeur liée au kérosène peut être détectée jusqu'à 8 kilomètres de distance. Sur l'aéroport de Hambourg, la gêne olfactive a été détectée dans quelques zones autour de l'aéroport.

A l'aéroport de Boston, une relation a été établie entre les plaintes liées aux odeurs, le niveau des activités aéroportuaires et les conditions météorologiques. L'étude estime que les émissions d'hydrocarbures représentent 50 % de substances odorantes sur l'aéroport.

A l'aéroport de Copenhague, une étude sur la détermination des émissions olfactives par quantité d'hydrocarbures émis en fonction du régime du moteur et du fuel consommé par les avions a été conduite. Les résultats indiquent qu'à bas régime (lors du roulage des avions), 98 % des émissions sont odorantes tandis qu'à fort régime, ces émissions ne représentent que 2%. Des campagnes de mesures réalisées à l'aide d'un jury de nez ont été également mises en œuvre sur cet aéroport.

Les résultats montrent que les odeurs générées par les opérations aériennes dépassent les valeurs guides définies par l'agence environnementale danoise pour les zones résidentielles. L'étude n'a pas permis de définir de sources odorantes et donc des odeurs.

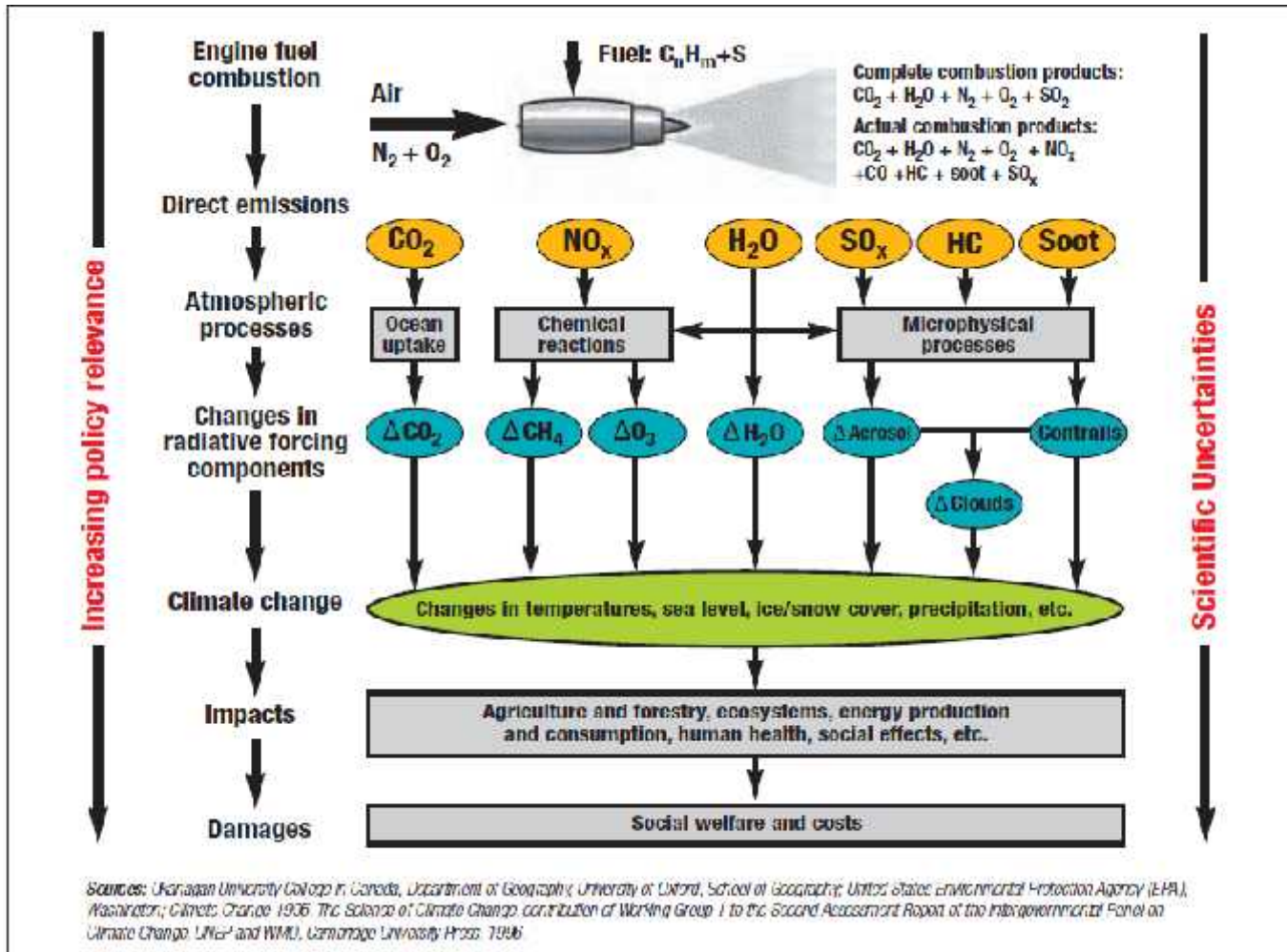


Figure (1.10) : Représentation schématique des émissions d'avions et de leurs impacts potentiels sur climat et de bien être social.

I.6. Sources d'émission aéroportuaire

Les principales émissions aéroportuaires proviennent des avions (moteurs et groupe auxiliaire de puissance) ainsi que des activités sur la plate-forme aéroportuaire (sources mobiles ou fixes).

I.6.1. Le cycle LTO

Les émissions par les moteurs d'avions sont définies à partir du cycle d'atterrissage et de décollage, LTO (Landing and take-off). Le cycle LTO comporte quatre phases: approche, circulation au sol, décollage et montée (figure (I.11)). Ces phases sont comprises entre le sol et une hauteur de 915 m. Cette hauteur correspond à celle estimée pour la couche limite.

A chaque phase sont attribuées une durée et un régime de moteur (tableau (1.5)). L'ICAO fournit les facteurs d'émissions (g de composé / kg de fuel consommé) des NOx (équivalent NO₂), du CO, des hydrocarbures imbrûlés (équivalent méthane) et des fumées pour les réacteurs d'une puissance nominale au décollage supérieure à 26.7kN.

Les facteurs d'émissions sont obtenus dans le cadre des certifications réalisées pour chaque moteur avant la mise en service. Ils sont attribués pour l'ensemble du cycle LTO ou bien pour chacune des phases pour chaque type de moteur. Actuellement il y a près de 300 moteurs à usage commercial.

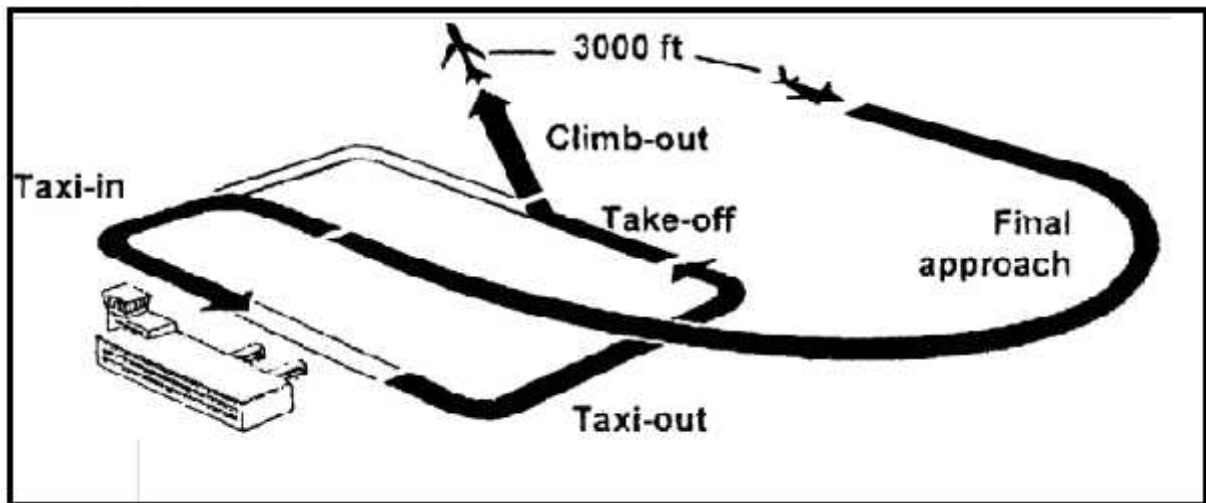


Figure (I.11) : Schéma du cycle de décollage et d'atterrissage LTO (Landing and Take-off) défini par l'ICAO

| Phase | Réglage poussée | Temps du régime |
|-------------------------------|--------------------|-----------------|
| Décollage | 100% de la poussée | 0.7 minute |
| Monté | 85% de la poussée | 2.2 minute |
| Approche | 30% de la poussée | 4.0 minute |
| Circulation au sol et ralenti | 7% de la poussée | 26.0 minute |

Tableau (I.5) : Analyse des résultats de l'apprentissage du modèle sélectionné.

I.6.2. Le groupe auxiliaire de puissance des aéronefs

Le groupe auxiliaire de puissance (APU, Auxiliry Power Unit) est un moteur installé à l'arrière de l'avion. Il fonctionne avec le kérosène provenant des réservoirs de l'avion. Ce moteur fournit l'énergie nécessaire essentiellement pendant l'escale (climatisation, éclairage à l'intérieur de l'avion. . .). Il peut également être utilisé au démarrage de moteurs, au roulage et au décollage, pour certains types d'avions. Les émissions des APU dépendent directement des phases de fonctionnement et de la durée associée.

I.6.3. Les sources mobiles

Les sources mobiles concernent le transport routier dans la zone publique et la zone réservée ainsi que les engins spéciaux. Les engins spéciaux, dénommés GSE (Ground Support Equipment) comprennent une large variété de véhicules et d'équipes nécessaires aux opérations au sol. Il s'agit principalement des tracteurs, pousseurs d'avions, transports bagages, groupes électrogènes.

I.6.4. Les sources fixes

Les sources fixes comprennent les centrales thermiques, le stockage et la distribution des hydrocarbures, les opérations de nettoyage, de maintenance, de peinture et de dégivrage .

I.7. Le bilan des émissions aéroportuaires

En Algérie aucun bilan n'a été réalisé à ce jour et c'est donc l'objectif de ce travail. En France par exemple, la DGAC (Direction Générale de l'Aviation Civile) dispose d'un guide basé sur les facteurs d'émission fournis par l'ICAO pour le calcul des émissions par les avions . Le CITEPA a de plus réalisé des guides méthodologiques pour la détermination des émissions par les APU et par les "hors aéronefs". La figure(I.12) récapitule les émissions des NOx, de CO et des HC par les principales sources aéroportuaires en 2006.

Les aéronefs sont les sources majoritaires des NOx. Elles représentent 68 % des émissions aéroportuaires de Paris-Charles-de-Gaulle. Le trafic routier contribue pour 28 %.

En revanche, pour les COV et le CO, les émissions par le trafic routier sont comparables à celles des avions. Les émissions liées aux APU et à la production d'énergie sont minoritaires.

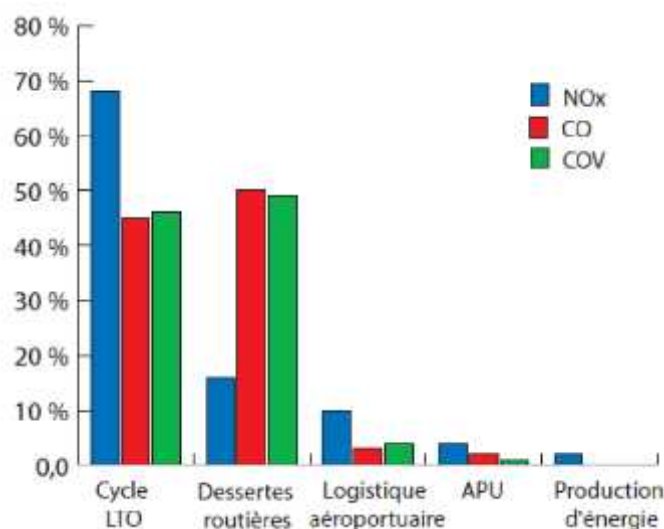


Figure (I.12) : Répartition en pourcentage en émissions aéroportuaires à Paris-CDG

I.8. Emissions liées à la combustion par les moteurs d'avion

I.8.1. Variabilité des facteurs d'émission

La combustion au sein des moteurs d'avion produit du CO₂ et de la vapeur d'eau. Les émissions dépendent directement de la quantité de carburant consommé. La combustion incomplète génère du SO₂, des NO_x, de CO, des hydrocarbures et des particules. Les émissions des oxydes de soufre dépendent de la teneur en soufre du carburant.

Les émissions des NO_x, de CO, des hydrocarbures et des particules dépendent principalement de deux facteurs : le régime moteur (déterminant la température et la pression au sein du réacteur) et le type de moteur. La variation des émissions en fonction du régime moteur est illustrée par la figure(I.13) .

Le facteur d'émission des NO_x et de CO est présenté en fonction du régime du moteur au niveau de la mer et à 11 km d'altitude. A bas régime (*démarrage* et roulage des avions), la température de combustion est peu élevée (680 K - 1700 K) et ne garantit pas une combustion optimale. L'émission de CO est maximale. Un comportement identique est

observé pour les hydrocarbures. En revanche, à haut régime (décollage des avions), la température au sein de la chambre de combustion est plus élevée (autour de 2300 K). Cela entraîne directement une augmentation de l'émission des NOx . La production de particules croît également avec le régime du moteur.

Les émissions varient également en fonction du type de moteur. Cela est lié notamment à l'âge et à la puissance du moteur ainsi qu'à la consommation du carburant. Cette variabilité dans les émissions est observée dans la base de données de l'ICAO où sont répertoriés tous les moteurs à usage commercial.

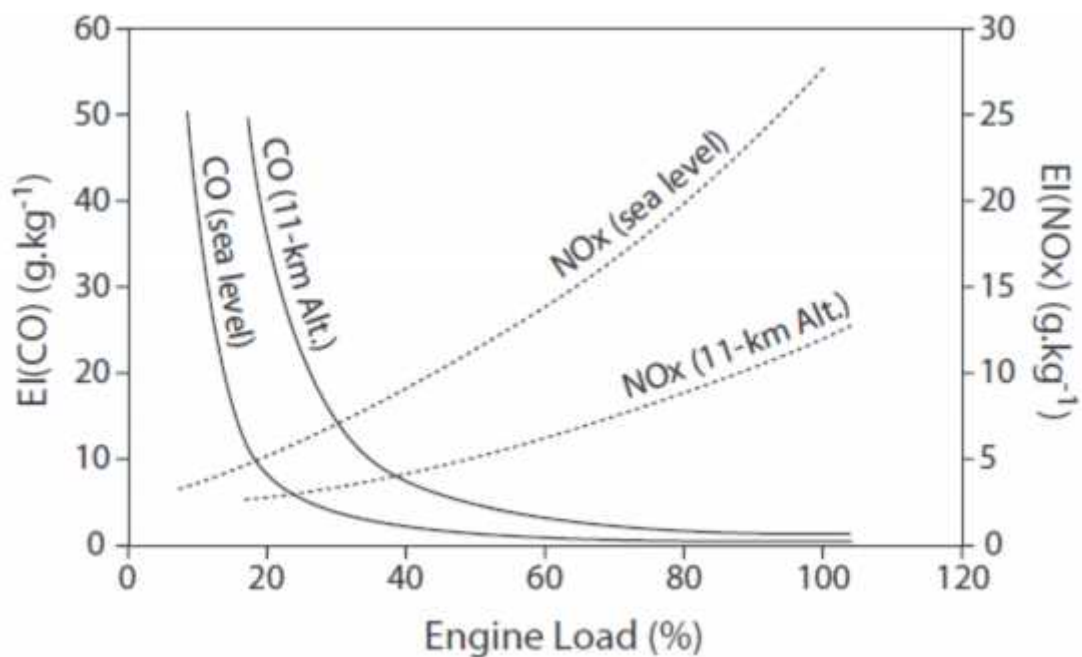


Figure (I.13) : Facteur d'émission des NOx et de CO

L'inventaire des émissions des avions, calculé à partir de cette base de données, prend donc en compte les différences attribuées au type de moteur mais également celles attribuées aux différents régimes du moteur établis pour chaque phase du cycle.

Il importe donc d'évaluer cette méthodologie par comparaison avec les conditions opérationnelles "réelles". Dans ce cadre, des mesures des NOx, de CO et des hydrocarbures ont été réalisées directement sous le flux des réacteurs.

Les résultats de ces études confirment que les émissions des polluants dépendent étroitement des processus de combustion et des caractéristiques du moteur. Les facteurs d'émission obtenus sont très variables et dépendent de conditions opérationnelles spécifiques de chaque étude.

Les facteurs d'émission mesurés par quelques études ont été comparés à ceux fournis par l'ICAO. Pour un même régime moteur, montrent que les facteurs d'émissions des NOx sont inférieurs à ceux donnés par l'ICAO montrent en revanche des résultats proches de ceux fournis par l'ICAO. Ces études convergentes toutefois en concluant que les conditions "réelles" d'opération observées sur l'aéroport diffèrent notablement de celles établies dans le cycle LTO.

Par exemple, le régime moteur lors de la phase de roulage est souvent inférieur à 7 % (pourcentage fixé par l'ICAO. Les variations de régime lors du roulage des avions ne semblent pas avoir une incidence significative sur les émissions des. En revanche, elles ont une incidence sur les émissions de CO et des hydrocarbures

Ce point est illustré par la figure (I.14), qui présente les émissions des hydrocarbures totaux en fonction du régime de moteur.

Les émissions d'hydrocarbures sont majoritaires à 4-5% du régime moteur. Les émissions diminuent d'un facteur 2 à 3 lors que le régime est établi à 7 % (régime correspondant au roulage des avions selon l'ICAO). Les différences observées entre les facteurs d'émissions mesurés et ceux fournis par l'ICAO suggèrent que les émissions d'hydrocarbures calculées à partir de la base de données de l'ICAO pourraient être sous-estimées.

A partir d'un régime moteur de 15 %, les émissions des hydrocarbures diminuent à nouveau d'un facteur 3 et restent peu modifiés jusqu'à 100 % du régime. La durée de la phase de roulage a également une influence directe sur les niveaux des émissions par les avions. Wood et al (2008) montrent que les émissions de NO2 augmentent de 60 % (de 18 % pour les NOx) lorsque le temps de roulage est doublé. Des résultats sur les hydrocarbures n'ont pas été reportés par cette étude.

En conclusion, les conditions opérationnelles, notamment le régime moteur, déterminent les émissions des avions. Ces émissions sont répertoriées dans une base de données gérée par l'ICAO. Cependant il a été montré que cette base de données n'est parfois pas représentative des émissions engendrées par le trafic aérien du fait de conditions opérationnelles sur les aéroports qui peuvent être extrêmement variables.

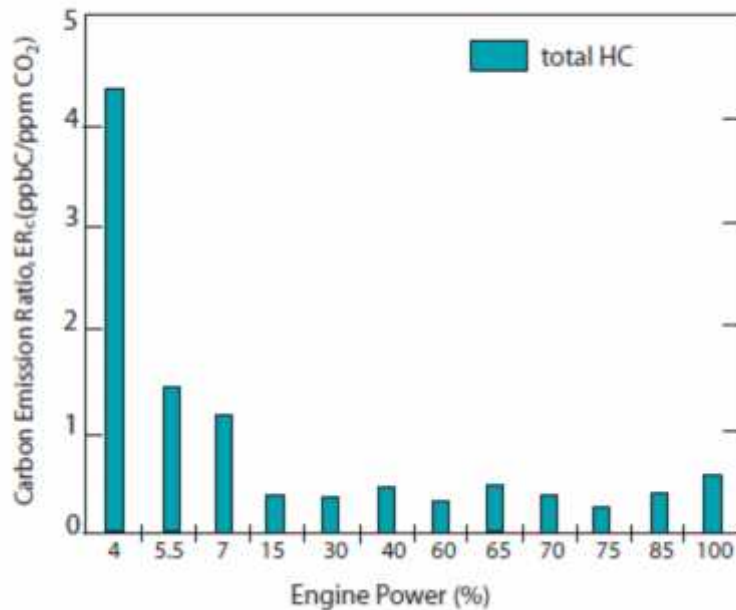


Figure (I.14) : Rapport à l'émission des hydrocarbures totaux par CO₂ .

I.8.2. Spéciation des hydrocarbures émis par les moteurs d'avion

Les facteurs d'émission fournis par l'ICAO ne sont pas détaillés ; ils correspondent aux hydrocarbures totaux en équivalent méthane (CH₄). Le régime moteur influence la spéciation des hydrocarbures émis. La figure (I.15a) présente le facteur d'émission en fonction du nombre de carbone pour deux régimes moteurs : 7 % et 61 % .A bas régime moteur, le facteur d'émission des hydrocarbures décroît lorsque le nombre d'atome de carbone augmente ; l'inverse est observé à haut régime. La figure (I.15b) présente les émissions par familles d'hydrocarbures.

Les émissions d'alcènes et d'alcyne sont favorisées à bas régime. En revanche, les émissions d'alcanes et d'aromatiques sont favorisées à fort régime.

Plusieurs études ont été dédiées à la mesure des hydrocarbures. En effet, on a réalisé des mesures sur des moteurs à usage militaire et commercial. Les résultats montrent que lorsque le moteur est à bas régime (entre 4 et 7 %) les composés majoritaires sont l'éthène, le propène, acétylène et le formaldéhyde.

Lorsque le moteur est à haut régime (60-80 %) les concentrations des hydrocarbures diminuent d'un facteur 20 à 50 et les composés imbrûlés ont pratiquement disparu. Comme mentionné précédemment, les espèces avec un nombre de carbone plus élevé sont majoritaires (figure I.15a). Les autres études réalisées a posteriori reportent des résultats similaires.

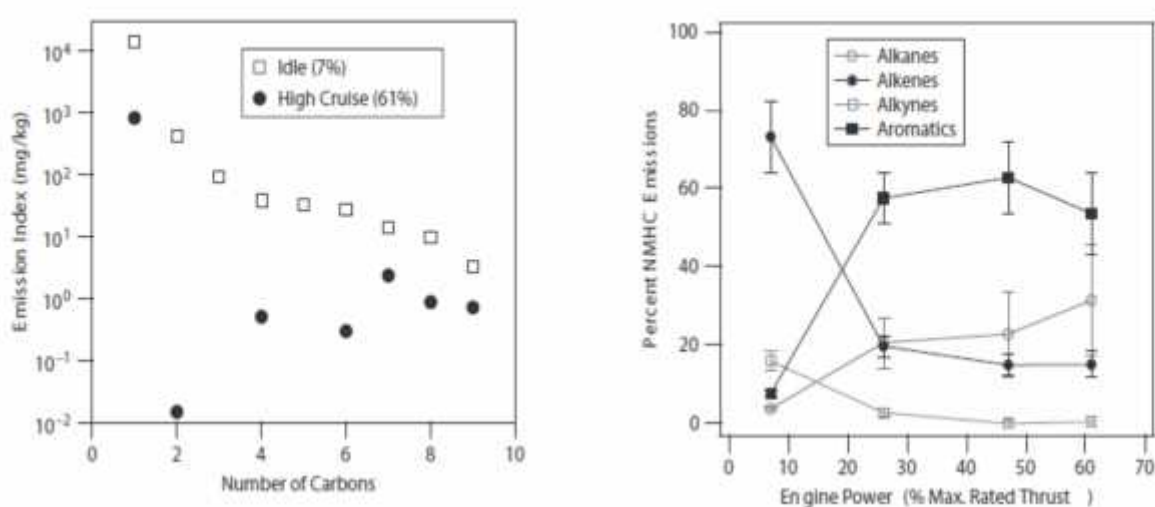


Figure (I.15a,b) : Emissions par des espèces par nombre de carbone à 7 % et 61 % du régime moteur.

Le CO et le CH₄ forment un seul groupe (a). Pourcentage d'émissions par d'hydrocarbures en fonction du régime moteur (b). Le méthane a été exclu de cette analyse.

I.8.3. Spéciation des hydrocarbures contenus dans les carburants

La composition chimique des carburants est un élément potentiel pour distinguer les émissions par les avions. Le tableau (I.7) présente la composition chimique du jet fuel, du gasoil et de l'essence sans plomb. Le kérosène, composant principal du jet fuel est un mélange d'hydrocarbures de 8 à 18 atomes de carbone (C₈-C₁₈). Les alcanes en C₁₀ à C₁₄ sont majoritaires (65-70). Les composés aromatiques et aliphatiques insaturés représentent respectivement de 10 à 25 % et de 1 à 5 % de la masse totale.

La composition primaire du gasoil est similaire de celle du jet fuel. Ces deux carburants sont en effet constitués principalement d'alcane à chaînes longues. L'essence sans plomb est en revanche constituée des chaînes de carbone plus courtes (cf. tableau I.4). La figure(I.16) présente la distribution massique de l'essence, du gasoil et du jet fuel pour les alcanes de C7 à C10. Comme attendu, cette distribution est analogue pour le profil du jet fuel et du gasoil. Le nonane et le décane sont les hydrocarbures majoritaires présents dans les deux carburants. Ils représentent entre 60 et 70 % de la masse analysée. Le profil de l'essence est caractérisé par une proportion plus importante en heptane (50 %) et octane (65 %).

| Caractéristiques | Jet fuel | Gasoil | Essence sans plomb |
|---|----------------|----------------|--------------------|
| Benzène | >0,02 % | ND* | > 1,0 % |
| Nombre d'atome de carbone de constituant principaux | C8-C18 | C10-C15 | C4-C12 |
| Formule chimique moyenne | $C_{11}H_{21}$ | $C_{12}H_{26}$ | C_8H_{16} |
| Composition en composés aromatiques | 10-25 % | 35 % | 25 % |

Tableau (I.7) : Caractéristiques générales du jet fuel, de l'essence sans plomb et du diesel

* Non déterminé

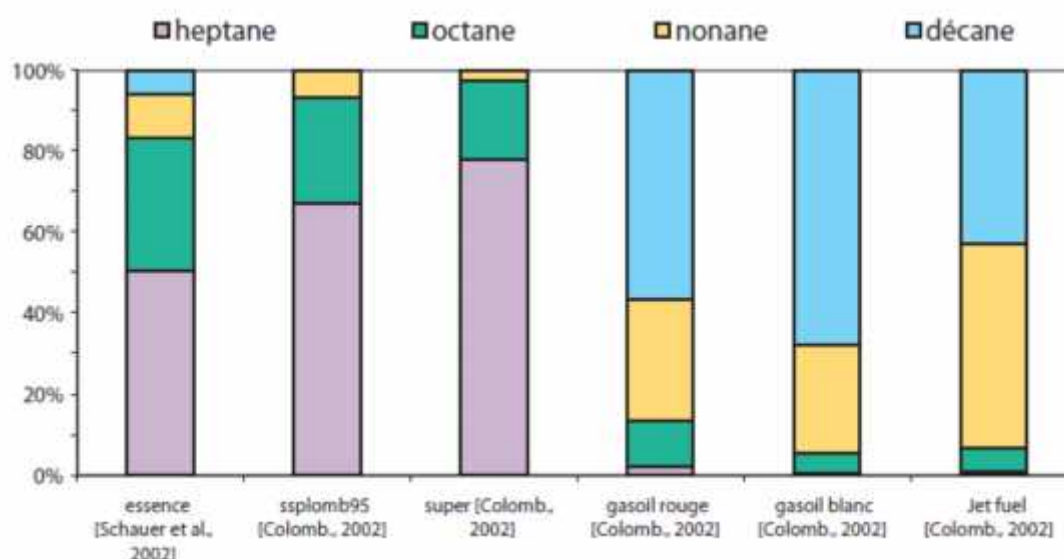


Figure (I.16). – Répartition massique d'alcane pour l'essence, le gasoil et le jet fuel.

I.9. Les impacts actuels et futurs de l'aviation subsonique sur le forçage radiatif et le rayonnement UV

Le pouvoir de réchauffement global (PRG) d'un gaz se définit comme le "forçage radiatif" (c'est à dire la puissance radiative que le gaz à effet de serre renvoie vers le sol), cumulé sur une durée variable. Cette valeur dépend du spectre d'absorption du gaz et de son temps de vie dans l'atmosphère. Elle est mesurée en comparaison au CO₂.

Ce pouvoir de réchauffement global est une représentation simplifiée de la réalité :

- la concentration des gaz dans l'atmosphère évolue et conditionne leur pouvoir de réchauffement.
- les spectres d'absorption de deux gaz peuvent se recouvrir partiellement ainsi les pouvoirs de réchauffement de deux gaz sont interdépendants, ce qui n'est pas pris en compte ici.
- le temps de vie dans l'atmosphère peut varier suivant les conditions atmosphériques.

Un résumé des effets radiatifs résultant des émissions de moteurs d'avions est donné dans les Figures (I.17a) et (I.17b). Comme le montre la Figure (I.17a.b), il y a beaucoup d'incertitude sur plusieurs de ces effets.

L'échelle de la Figure 17b est environ 4 fois plus grande que l'échelle de 17a. Les barres représentent les meilleures estimations du forçage et les lignes qui accompagnent chaque barre représentent une plage d'incertitude de deux tiers sur la base des meilleures connaissances et des meilleurs outils actuellement disponibles. (La plage d'incertitude de deux tiers signifie qu'il y a une probabilité de 67% que la valeur réelle se situe dans cette plage.)

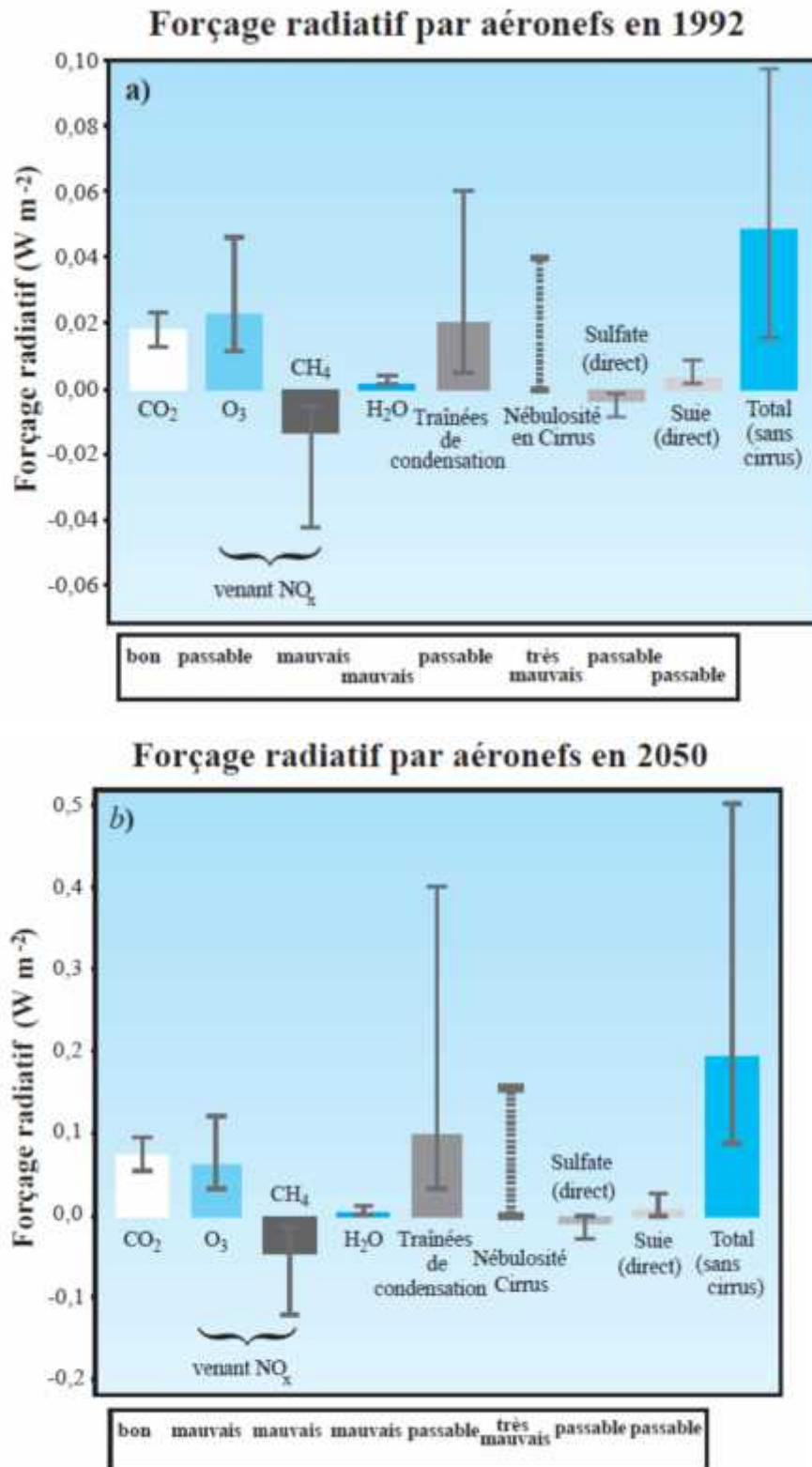


Figure (I.17a.b) Estimations de la moyenne mondiale annuelle du forçage radiatif dû aux émissions d'avions subsoniques en 1992 (17.a) et en 2050 (17.b)

Les informations disponibles sur la nébulosité en cirrus sont insuffisantes pour permettre de déterminer une meilleure estimation ou une plage d'incertitude; la ligne de tirets représente une gamme de meilleures estimations possibles.

L'estimation du forçage total n'inclut pas l'effet des changements dans la nébulosité en cirrus. L'estimation d'incertitude pour le forçage radiatif total (sans cirrus additionnels) est calculée comme étant la racine carrée des sommes des carrés des plages supérieures et inférieures pour les différents éléments.

Les évaluations figurant au-dessous du graphique (bon, passable, mauvais, très mauvais) sont des appréciations relatives liées à chaque élément et indiquent le niveau de compréhension scientifique. Elles sont fondées sur la quantité d'informations disponibles à l'appui des meilleures estimations ainsi que leur incertitude, le degré de consensus dans les publications scientifiques et la portée de l'analyse.

Ces évaluations sont distinctes des évaluations de plages d'incertitude représentées par les lignes correspondant à chaque barre. Ce mode de présentation n'est pas le même et il est plus significatif que le degré de confiance représenté dans les graphiques analogues dans *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*.

Chapitre II

Méthodologies et techniques d'inventaires



I.1. Introduction aux inventaires d'émissions

Un inventaire d'émission est une évaluation de la quantité d'une substance polluante émise par un émetteur donné pour une zone géographique et une période de temps donnée.

Pour mieux connaître et maîtriser la pollution de l'air, il est nécessaire de savoir quelle sont les sources de pollution, de les identifier et les quantifier. Cette connaissance permet ensuite de prendre des mesures de réduction des émissions à la source. Les inventaires d'émissions sont également une donnée de base nécessaire pour réaliser des évaluations de qualité de l'air et estimer les impacts de cette pollution sur l'environnement.

L'inventaire d'émission permet d'avoir une information quantitative sur les rejets de polluant pour :

- informer les décideurs et public
- définir les priorités environnementales et les acteurs responsables des problèmes.
- Fixer des objectifs et contraintes en matière de réduction des émissions
- Evaluer l'effet de différentes stratégies pour combattre les impacts
- Faire l'analyse coût /bénéfice des décideurs politiques
- Surveiller l'état de l'environnement
- Surveiller l'action politique et le respect des objectifs.
-

Le principe méthodologique général repose sur l'équation de base

$$\mathbf{E} = \mathbf{A} * \mathbf{F}_{em} \quad (1)$$

Où \mathbf{E} est l'émission (ou flux d'émission)

\mathbf{A} est l'activité des émetteurs

\mathbf{F}_{em} est facteur un unitaire d'émission

Pour élaborer un inventaire d'émission, il faut :

- Identifier les sources (émetteur), en correspondance avec les substances.
- Pour chaque source, déterminer son :
 - Activité
 - Facteur unitaire d'émission
 - Émetteur en faisant le produit indiqué
- Sommer sur l'ensemble des sources recensées

La réalisation d'un inventaire est essentiellement fondée sur la collecte de donnée. Souvent, les données de base sont mal connues, les séries sont incomplètes et il est nécessaire de les extrapoler ou les combler.

La réalisation d'inventaire exige aussi bien souvent la contribution de base de données. L'automatisation de l'observation et la collecte de données de base sont nécessaires aux inventaires.

Le contenu de l'inventaire dépend de son objectif final mais on retrouve toujours les quatre composants communs qui structure quasiment tous les inventaires d'émissions :

- Substance
- Echelle d'espace
- Echelle de temps
- Emetteurs

II.2. Les polluants réglementés en aviation

Les moteurs d'avions sont réglementés sur la quantité d'émissions qu'ils peuvent produire. Les normes principales sont incluses dans :

- ICAO, annexe 16, vol. 2, les recommandations s'appliquent seulement aux turboréacteurs et aux réacteurs à turbosoufflante, qui sont destinés à la propulsion aux vitesses subsoniques
- FAA (LOIN 34), seulement des normes de fumée ont été fixées pour le turbopropulseur.

Les substances réglementées sont NO_x (oxydes d'azote), Co (oxyde de carbone), UHC (hydrocarbures non brûlés) et fumée.

| | CO | UHC | NO _x | SMOKE | CO ₂ | H ₂ O |
|-------------|-----------|-----------|-----------------|-------------|-----------------|------------------|
| ICAO | Jets only | Jets only | Jets only | Jets only | None | None |
| FAA | None | Jets only | None | Jets/Tprops | None | None |

Tableau(II.1) : Les substances réglementées

La recommandation d'ICAO contenue en annexe 16 est actuellement en vigueur pour des réacteurs seulement et des émissions de soucis de CO, d'UHC, de NO_x et de fumée.

La législation de FAA (LOIN 34) est sensiblement moins exigeante bien qu'elle traite des avions de turboréacteur et de turbopropulseur.

En ce qui concerne des turbopropulseurs, on s'attend à ce qu'aucune mesure législative plus stricte ne soit prise pour les raisons suivantes :

- La faible contribution des avions à turbopropulseur à toutes les émissions d'aviation.
- les progrès déjà considérables accomplis dans les réductions de polluants et qui sont étroitement lié à la consommation d'énergie, sur ces turbomoteurs
- les combinaisons des aspects opérationnels de ces derniers de moteurs d'avions :
 1. Altitudes fonctionnelles relativement basses
 2. Des temps de manœuvres relativement faibles aux aéroports
- équipement moderne en service avec les lignes aériennes régionales
- les transports aériens régionaux courants (jusqu'à 80 sièges) contribuent seulement 10% de la consommation de carburant total de l'aviation européenne).
- les émissions ont lieu aux basses altitudes menant à une contribution très faible à la pollution et ne contribue pas du tout à l'épuisement de la couche d'ozone.

II.3. Méthodologie et calcule selon l'OACI

Une banque de données (annexe 1) renfermant ces informations est réalisé par l'OACI. Cette banque de données contient des informations sur les émissions des moteurs. Les informations ont été fournies par les fabricants de moteur, qui sont les seuls responsables de son exactitude. Elles ont été rassemblées au cours des travaux menés à bien par le comité d'ICAO de la protection de l'environnement d'aviation (le CAEP) mais n'ont pas été indépendamment vérifiées à moins qu'indiquées.

Les normes limitant les émissions de la fumée, les hydrocarbures non brûlés (HC), l'oxyde de carbone (CO) et les oxydes de l'azote (NOx) du turboréacteur et les moteurs à turbosoufflante sont contenues dans le volume II de l'annexe 16 à la convention sur l'aviation civile internationale. L'annexe contient également des procédures approuvées d'essai et de mesure.

En ce qui concerne des applications subsoniques, les dispositions des normes pour la fumée sont appliquées aux moteurs dont la date de la fabrication est au-dessus ou après le 1er janvier 1983. Pour les émissions gazeuses, les normes sont appliquées seulement aux moteurs dont le rendement évalué est plus grand que le 26.7 KN. Pour les hydrocarbures et l'oxyde de carbone, elles sont appliquées aux moteurs dont la date de la fabrication est au-dessus ou après le 1er janvier 1986. Pour des oxydes de l'azote, les normes ont plusieurs niveaux de raideur selon la date de la fabrication du moteur. Ces normes sont récapitulées plus tard dans la ce qui suit.

II.3.1. L'utilisation de la base de données

L'utilisateur de la banque de données devrait noter les limitations dans les données d'émissions ; c.-à-d. :

a) Les valeurs de **Dp/Foo** sont basées sur un cycle idéalisé d'atterrissage/ décollage (LTO) dans les conditions de l'atmosphère standard internationale (ISA). En évaluant, par exemple, les émissions totales d'avions à un aéroport spécifique, on tient en considération les données de poussées et temps en chaque mode et les conditions de référence.

b) Le cycle de LTO évalue seulement les émissions en-dessous de 915 m (3 000 pi) et peut donc ne pas être un bon guide pour comparer les émissions de différents moteurs en d'autres modes de vol, par exemple croisière.

II.3.2. Normes de normalisation

Ces conditions d'applicabilité et niveaux de normalisation sont ceux trouvées en annexe 16, le volume II, la partie III, le chapitre 2 (moteurs subsoniques)

II.3.2.1.Fumée

II.3.2.1.1.Application

Les dispositions s'appliqueront aux moteurs construits à compter du 1er janvier 1983.

II.3.2.1.2. Indice de fumée réglementaire

À chaque réglage de poussée des quatre régimes d'utilisation CAD, l'indice de fumée mesuré et calculé conformément aux procédures de l'Appendice 2 de l'annexe 16 vol2 et ramené à un niveau caractéristique en appliquant les procédures de l'Appendice 6 ne dépassera pas la valeur donnée par la formule ci-après :

$$\text{Indice de fumée réglementaire} = 83,6 (Foo) - 0,274 (2)$$

Ou 50 si la valeur ci-dessus est supérieure à 50

II.3.2.2. Émissions gazeuses

II.3.2.2.1.Application

Les dispositions s'appliqueront aux moteurs dont la poussée nominale est supérieure à 26,7 KN et qui seront construits à compter du 1er janvier 1986 ou, pour les oxydes d'azote, comme il est spécifié ci-après.

II.3.2.2.2. Niveaux réglementaires

Les niveaux d'émission de gaz mesurés et calculés conformément aux procédures de l'Appendice 3 de l'annexe 16 vol2 et ramenés à des niveaux caractéristiques suivant les procédures de l'Appendice 6 ne dépasseront pas les valeurs données par les formules ci-après:

$$\text{Hydrocarbures (HC) : } Dp / Foo = 19,6 \quad (3)$$

$$\text{Monoxyde de carbone (CO) : } Dp / Foo = 118 \quad (4)$$

Oxydes d'azote (NOx) :

- a) pour les moteurs d'un type ou d'un modèle tel que la date de construction du premier modèle de série tombe au plus tard le 31 décembre 1995 et que la date de construction du moteur considéré tombe au plus tard le 31 décembre 1999 :

$$Dp / Foo = 40 + 2 \text{ oo } (5)$$

- b) pour les moteurs d'un type ou d'un modèle tel que la date de construction du premier modèle de série est postérieure au 31 décembre 1995 ou que la date de construction du moteur considéré est postérieure au 31 décembre 1999 :

$$Dp / Foo = 32 + 1,6 \text{ oo } (6)$$

- c) pour les moteurs d'un type ou d'un modèle tel que la date de construction du premier modèle de série est postérieure au 31 décembre 2003 :

1) moteurs ayant un rapport de pression égal ou inférieur à 30 :

i) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 89,0 kN :

$$Dp / Foo = 19 + 1,6 \text{ oo } (7)$$

ii) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 26,7 kN mais inférieure ou égale à 89,0 kN :

$$Dp / Foo = 37,572 + 1,6 \text{ oo } - 0,2087 Foo (8)$$

2) moteurs ayant un rapport de pression supérieur à 30 mais inférieur à 62,5 :

i) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 89,0 kN :

$$Dp / Foo = 7 + 2,0 \text{ oo } (9)$$

ii) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 26,7 kN mais inférieure ou égale à 89,0 kN :

$$Dp / Foo = 42,71 + 1,4286 \text{ oo} - 0,4013 Foo + 0,00642 \text{ oo} \times Foo (10)$$

3) moteurs ayant un rapport de pression égal ou supérieur à 62,5 :

$$Dp / Foo = 32 + 1,6 \text{ oo } (11)$$

d) pour les moteurs d'un type ou d'un modèle tel que la date de construction du premier modèle de série est postérieure au 31 décembre 2007 :

1) moteurs ayant un rapport de pression égal ou inférieur à 30 :

i) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 89,0 kN :

$$Dp / Foo = 16,72 + (1,4080 * \text{ oo}) (12)$$

ii) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 26,7 kN mais inférieure ou égale à 89,0 kN :

$$Dp / Foo = 38,5486 + (1,6823 * \text{ oo}) B (0,2453 * Foo) B (0,00308 * \text{ oo} * Foo) (13)$$

2) moteurs ayant un rapport de pression supérieur à 30 mais inférieur à 82,6 :

i) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 89,0 kN :

$$Dp / Foo = -1,04 + (2,0 * \text{ oo}) (14)$$

ii) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 26,7 kN mais inférieure ou égale à 89,0 kN :

$$Dp / Foo = 46,1600 + (1,4286 * \text{ oo}) B (0,5303 * Foo) + (0,00642 * \text{ oo} * Foo) (15)$$

3) moteurs ayant un rapport de pression égal ou supérieur à 82,6 :

$$Dp / Foo = 32 + (1,6 * oo) (16)$$

II.4. Calculateur d'émission de carbone d'ICAO

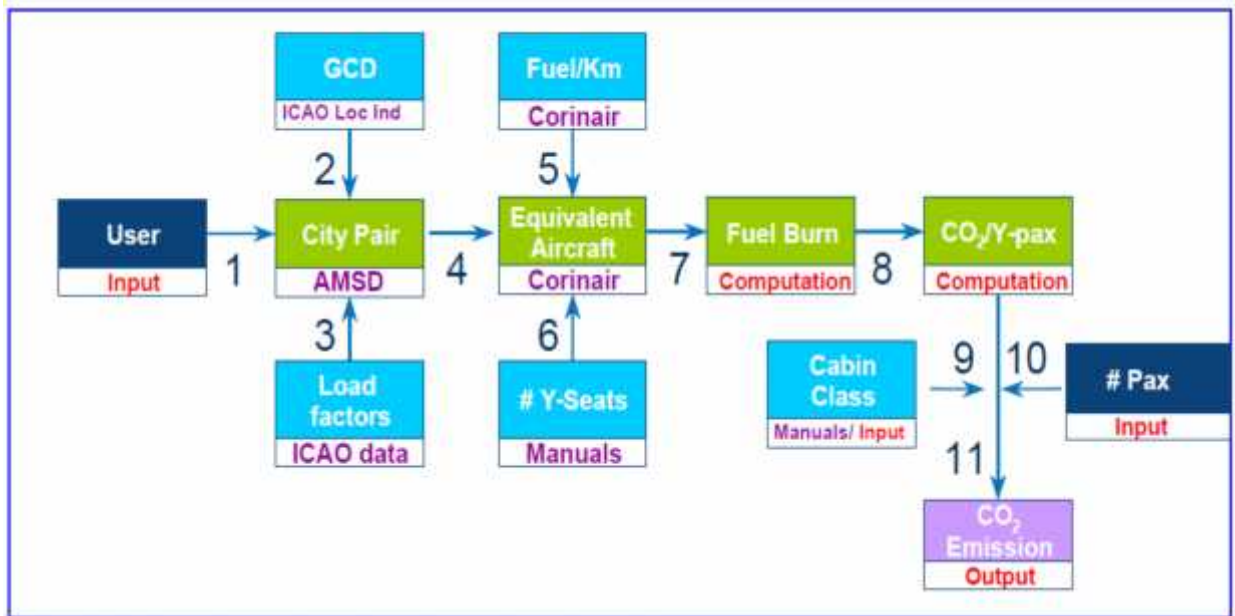
La calculatrice d'émission de carbone d'ICAO exige que l'utilisateur entre les aéroports d'origine et de la destination pour un vol direct (c.-à-d. un vol qui n'a pas un changement du numéro de vol). Ceci est alors comparé aux vols réguliers édités pour obtenir les types d'avions employés pour servir les deux aéroports intéressés et le nombre de départs par avions.

Chaque avion est alors tracé dans un des cinquante types d'avions équivalents afin de calculer la consommation de carburant pour le voyage basé sur la grande distance de cercle entre les aéroports impliqués dans le voyage.

Les indices de charge de passager, et le passager aux rapports de cargaison, obtenus à partir du trafic et des données opérationnelles rassemblés par ICAO, sont appliqués pour obtenir la proportion de carburant total utilisée qui peut être attribuée aux passagers transportés. Le système calcule la consommation de carburant moyenne pour voyage pesé par la fréquence du départ de chaque type d'avions équivalent. Ceci est divisé par tout le nombre de passagers équivalents de classe touriste, donnant une consommation moyenne de carburant par passager de classe touriste. Le résultat est alors multiplié par 3.157 afin d'obtenir la quantité d'empreinte de pas de CO2 attribuée à chaque passager voyageant entre ces deux aéroports.

II.4.1. Procédure de calcul

ICAO a employé cette méthodologie pour développer une calculatrice d'émission de carbone utilisant une base de données construite de plusieurs points d'émission. Du diagramme ci-dessous, nous identifions l'information suivante utilisée comme entrée de la calculatrice :



Figure(II.1) : Diagramme du calculateur de CO2 de l'OACI

Paires de ville : Obtenu à partir de la base de données multilatérale de programmes de lignes aériennes (AMSD). Les données de programme de vol sont basées sur la dernière information disponible et sont mises à jour annuellement.

GCD (grande distance de cercle) : La distance entre l'origine et les aéroports de destination est dérivée des coordonnées de latitude et de longitude à l'origine obtenues de la base de données d'indicateurs d'endroit d'ICAO.

Indices de charge : Les facteurs génériques moyens considérés pour ce calcul sont originaire du trafic par la base de données d'étape de vol (TFS) qui rassemble des données spécifiques du trafic de ville-paires de transporteur aérien par le type d'avions produit sur une base annuelle, données du trafic domestiques, et données opérationnelles toutes les deux rassemblées par ICAO, comme des données basées sur les programmes de vol édités par les transporteurs aériens.

Fuel/Km : Cette information, par modèle équivalent d'avions, est obtenue à partir de la base de données de CORINAIR, et arrondis par ICAO pour refléter la consommation de carburant des avions régionaux.

Y-sièges : C'est le nombre de sièges d'économiques qui peuvent être adaptés à l'intérieur des avions équivalents. ICAO s'est servi d'une disposition de carlingue standard (en termes d'endroit des offices, des toilettes et des sorties) pour chaque avion de référence. Cet espace fixe a été alors équipé d'une allocation des places de toute-économiques utilisant un lancement d'environ 31/32 pouce (79/81 cm). Cette configuration d'allocation des places a été alors comparée à une configuration mélangée comportant des combinaisons d'affaires et/ou de rangée/siège de la première classe où, pour les grands gros porteurs, les sièges de classe d'affaires ont un lancement de 38 pouces, et ceux dans la première classe ont un lancement de 60 pouces. Des exemples de ces dispositions ont été obtenus à partir du manuel sur des caractéristiques d'avion pour la planification d'aéroport éditée sur le Web par les avionneurs.

En termes simples, la méthodologie générale employée par la calculatrice d'ICAO peut être décrite avec les étapes suivantes, avec des références au diagramme ci-dessus :

L'utilisateur -input (1) - l'utilisateur entre dans les aéroports d'origine et de destination. La base de données recherche tous les vols, direct ou non-direct, servant cette ville-paire. Cependant, l'outil ne calcule pas les émissions totales pour des voyages avec différents numéros de vol (vols de correspondance). Pour faire ceci, l'utilisateur peut choisir d'établir un total en calculant chacune des étapes de voyage séparément et en les ajoutant.

Distance de voyage (2) - la base de données d'indicateurs d'endroit d'ICAO contient la longitude et la latitude coordonne pour les aéroports. De ces coordonnées le grand cercle (GCD) Distance¹ est alors calculé et corrigé par un facteur selon la distance entre les deux aéroports concernés.

Données du trafic (3) - une densité d'occupation de passager est assignée aux ville-paires définies pour l'utilisateur, basées sur la densité d'occupation de passager pour les groupes

correspondants d'itinéraire. L'information de densité d'occupation est obtenue à partir de la base de données, basée sur 17 groupes internationaux d'itinéraire plus 5 secteurs domestiques (voir l'annexe 3).

Trace de l'avions (4) - de la base de données de vols réguliers, l'avion programmé est identifié et lié à la base de données EMEP/CORINAIR de consommation de carburant d'avions. Quand l'avion programmé n'est pas dans la base de données, l'avion est tracé dans un des cinquante types d'avions équivalents existant dans la base de données de consommation de carburant d'avions. L'annexe B fournit des détails de la façon dont ceci a été faite. Ceci permet l'évaluation de l'utilisation de carburant total sur chaque itinéraire servant les ville-paires définies pour l'utilisateur.

Données de consommation de carburant (5) - la consommation de carburant au rapport de distance de vol est extrapolée du guide d'inventaire d'émissions (EIG) préparé par EMEP/CORINAIR. Les facteurs considérés incluent la densité d'occupation de passager, la distance de vol, la proportion de la charge utile globale représentée par le trafic de passager, la classe de carlingue pilotée, et le type d'avions équivalents pilotés. La quantité du combustible utilisée sur un itinéraire est la moyenne pesée de carburant total consommé basée sur les fréquences des types d'avions programmés pilotés.

Capacité de siège de la classe touriste (y) (6) - des plans d'étage de carlingue obtenus à partir du « manuel sur des caractéristiques d'avion pour la planification d'aéroport », qui est développée par des fabricants pour fournir des données nécessaires aux opérateurs d'aéroport et des lignes aériennes pour des équipements d'aéroport prévoyant, le nombre maximum des Y-sièges qui peuvent être adaptés par avions équivalents est déterminé. Cette « virtuel » configuration économique permet plus tard le calcul des facteurs de classe de carlingue (étapes 9 et 10).

CO2 par passager économique (7 et 8) – Utilisant la distance de voyage, la consommation de carburant équivalente d'avions, le facteur d'occupation de siège pour le passager et le facteur d'occupation du bagage du passager pour le groupe d'itinéraire, et le nombre de Y-sièges, la méthodologie calcule le CO2 associé à chaque passager, comme suit :

CO2 par Pax = 3.157 * (carburant total * le facteur de Pax-à-fret) / (nombre de y-sièges * facteur de charge de Pax)

Où

Le carburant total = la moyenne pesée du carburant employé par tous les vols à partir de l'aéroport de départ jusqu'à l'aéroport de destination. Le facteur de pondération est le rapport du nombre de départs pour chaque type d'avions équivalent, à tout le nombre de départs.

le facteur de Pax-à-fret = est le rapport calculé à partir de la base de données statistique d'ICAO basée sur le nombre de passagers et le tonnage du courrier et du fret, transporté dans un groupe donné d'itinéraire.

Le nombre de Y-sièges = le nombre de sièges équivalents économiques disponibles sur tous les vols servant la ville donnée.

Le facteur de charge de Pax = le rapport calculé à partir de la base de données statistique d'ICAO basée sur le nombre de passagers transportés et nombre de sièges disponibles dans un groupe donné d'itinéraire

3.157 = constante représentant le nombre de tonnes de CO2 ont produit en brûlant une tonne de carburant d'aviation.

Classe de cabine (9 et 10) - selon le choix d'utilisateur, un facteur multiplicatif de classe de cabine est appliqué pour ajuster le CO2 par Y-passager, sur itinéraires où les services de passager multiples de classe sont disponibles.

Le CO2 de passager (output) (11) - la quantité prévue pour l'émission de carbone.

Note :

Dans le suivant rapport le calcul des émissions de CO2 prise en considération sont les émissions totales par carburant consommé et non pas les émissions par passagers transportés et ceci conformément à la directive Européenne et ceci suite à la loi européenne relative à l'inclusion des compagnies aériennes dans le marché européen de CO2 ainsi que les lignes

directrices définies par la Commission Européenne pour le suivi de la consommation de carburant et des émissions de CO₂ par vol.

En effet, La directive 2008/101/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 modifiant la directive 2003/87/CE afin d'intégrer les activités aériennes dans le système communautaire d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre intègre les activités aériennes dans le système communautaire d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre.

II.5. Détermination des émissions de CO₂

Les émissions de CO₂ résultant des activités aériennes sont calculées au moyen de la formule suivante:

$$\text{Émissions de CO}_2 = \text{Consommation de carburant} * \text{facteur d'émission}$$

II.5.1. Choix de la méthode

L'exploitant d'aéronefs définit dans le plan de surveillance la méthode de surveillance utilisée pour chaque type d'aéronef. Dans le cas où l'exploitant d'aéronefs a l'intention d'utiliser des aéronefs pris en location ou d'autres types d'aéronefs qui ne sont pas encore inclus dans le plan de surveillance au moment où celui-ci est soumis à l'autorité compétente, il inclut dans le plan de surveillance une description de la procédure prévue pour définir la méthode de surveillance applicable à ces autres types d'aéronefs.

L'exploitant d'aéronefs veille à ce que la méthode de surveillance, une fois choisie, soit appliquée de manière cohérente.

L'exploitant d'aéronefs définit dans le plan de surveillance pour chaque type d'aéronef:

- a) la formule de calcul qui sera utilisée (méthode A ou méthode B);
- b) la source d'informations qui est utilisée pour déterminer les données concernant le carburant embarqué et le carburant contenu dans les réservoirs, ainsi que les méthodes de transmission, de stockage et de récupération de ces données;

c) la méthode utilisée pour déterminer la densité, le cas échéant. En cas d'utilisation de tableaux de correspondance densité-température, l'exploitant précise la source de ces données.

Pour les points b) et c), lorsque des circonstances particulières l'exigent, telles que l'impossibilité pour les fournisseurs de carburant de communiquer toutes les données requises pour une méthode donnée, cette liste des méthodes appliquées peut contenir une liste des divergences par rapport à la méthode générale pour des aérodromes spécifiques.

II.5.2. Consommation de carburant

La consommation de carburant est exprimée en carburant consommé en unités de masse (tonnes) durant la période de déclaration. FR 23.4.2009 Journal officiel de l'Union européenne L 103/19.

Le carburant consommé est surveillé pour chaque vol et pour chaque carburant, et comprend la quantité de carburant consommée par le groupe auxiliaire de puissance, calculée selon les formules ci-dessous. La quantité de carburant embarquée peut être déterminée sur la base de la quantité mesurée par le fournisseur de carburant, indiquée sur les factures ou les bons de livraison de carburant pour chaque vol. La quantité de carburant embarquée peut également être déterminée au moyen des systèmes de mesure embarqués. Les données sont communiquées par le fournisseur de carburant ou enregistrées dans la documentation de masse et centrage, dans le compte rendu matériel de l'aéronef, ou encore transmises par voie électronique de l'aéronef à l'exploitant de l'aéronef.

La quantité de carburant contenue dans le réservoir peut être déterminée au moyen des systèmes de mesure embarqués et enregistrée dans la documentation de masse et centrage, dans le compte rendu matériel de l'aéronef, ou encore transmise par voie électronique de l'aéronef à l'exploitant de l'aéronef.

L'exploitant choisit la méthode qui permet d'obtenir les données les plus complètes et les plus actualisées avec le plus faible degré d'incertitude, sans pour autant entraîner de coûts excessifs.

II.5.3. Formule de calcul

La consommation réelle de carburant est calculée grâce à l'une des deux méthodes suivantes:

Méthode A:

La formule utilisée est la suivante:

Consommation réelle de carburant pour chaque vol (tonnes) = quantité de carburant contenue dans les réservoirs de l'aéronef après l'embarquement du carburant nécessaire au vol (tonnes) – quantité de carburant contenue dans les réservoirs de l'aéronef après l'embarquement du carburant nécessaire au vol suivant (tonnes) + carburant embarqué pour ce vol suivant (tonnes).

S'il n'y a pas d'embarquement de carburant pour le vol ou pour le vol suivant, la quantité de carburant contenue dans les réservoirs de l'aéronef est déterminée au départ bloc pour le vol ou le vol suivant. Dans le cas exceptionnel où, à l'issue du vol pour lequel la consommation de carburant est surveillée, un aéronef effectue des activités autres qu'un vol, consistant par exemple à subir d'importants travaux de maintenance nécessitant la vidange des réservoirs, l'exploitant d'aéronefs peut remplacer les chiffres correspondant à la "quantité de carburant contenue dans les réservoirs de l'aéronef après l'embarquement du carburant nécessaire au vol suivant + carburant embarqué pour ce vol suivant" par celui correspondant à la "quantité de carburant restant dans les réservoirs au début de l'activité suivante de l'aéronef", telle que consignée dans les comptes rendus matériels.

Méthode B:

La formule utilisée est la suivante:

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).

L'arrivée bloc peut être considérée comme correspondant au moment de l'arrêt des moteurs. Lorsqu'un aéronef n'a pas effectué de vol préalablement au vol pour lequel la

consommation de carburant est mesurée, les exploitants d'aéronefs peuvent communiquer la quantité de carburant restant dans les réservoirs de l'aéronef à la fin de l'activité précédente de celui-ci, enregistrée dans les comptes rendus matériels, au lieu de la "quantité de carburant restant dans les réservoirs de l'appareil à l'arrivée bloc à la fin du précédent vol."

II.5.4. Exigences en matière de quantification

Niveau 1 : La consommation de carburant pendant la période de déclaration est déterminée avec une incertitude maximale inférieure à ± 5 %.

Niveau 2 : La consommation de carburant pendant la période de déclaration est déterminée avec une incertitude maximale inférieure à $\pm 2,5$ %.

Les exploitants d'aéronefs dont les émissions annuelles déclarées moyennes pendant la période d'échanges précédente (ou une estimation ou projection prudente, si les émissions déclarées ne sont pas disponibles ou ne sont plus applicables) sont inférieures ou égales à 50 kilotonnes de CO₂ d'origine fossile appliquent au minimum le niveau 1 pour les flux majeurs. Tous les autres exploitants d'aéronefs appliquent le niveau 2 pour les flux majeurs.
FR L 103/20 Journal officiel de l'Union européenne 23.4.2009

II.5.5. Densité du carburant

Si la quantité de carburant embarqué ou la quantité de carburant restante dans les réservoirs est déterminée en unités de volume (litres ou m³), l'exploitant d'aéronefs convertit en unités de masse cette quantité exprimée en unités de volume en se fondant sur les valeurs de la densité réelle.

On entend par densité réelle la densité exprimée en kg/litre et déterminée pour la température applicable pour une mesure spécifique. À moins qu'il ne soit possible d'utiliser des systèmes de mesure embarqués, la densité réelle est celle mesurée par le fournisseur de carburant lors de l'embarquement du carburant et enregistrée sur la facture ou le bon de livraison de carburant.

En l'absence de ces informations, la densité réelle est déterminée à partir de la température du carburant durant l'embarquement communiquée par le fournisseur de carburant ou précisée pour l'aérodrome où l'embarquement de carburant a lieu, au moyen des tableaux de correspondance standard densité-température. Dans les seuls cas où il est établi, à la satisfaction de l'autorité compétente, que les valeurs réelles ne sont pas disponibles, un facteur de densité standard de 0,8 kg/litre est appliqué. .

II.5.6. Facteur d'émission

Les facteurs de référence suivants exprimés en t CO₂ /t carburant, sur la base des pouvoirs calorifiques inférieurs de référence et des facteurs d'émission indiqués à l'annexe I, partie 11, sont utilisés pour chaque carburant aviation:

| Carburant | Facteur d'émission (t CO ₂ /t carburant) |
|----------------------------------|--|
| Essence aviation (AvGas) | 3,10 |
| Carburacteur large coupe (jet B) | 3,10 |
| Kérosène (jet A1 ou jet A) | 3,15 |

Tableau(II.2) : Facteurs d'émission pour les carburants d'aviation

Chapitre III

Constitution de la base de données



III.1. Introduction

La réalisation de l'inventaire nécessite des données désagrégées pour toute la période à estimer rétrospective de 2009 à 2011.

Le développement de cette base de données est l'étape de base pour effectuer les calculs de l'inventaire. Pour cela on va développer une base de données sous Delphi du fait qu'il propose en standard des composants pour manipuler des bases de données et des tables relationnelles. Tous ces composants ont une base commune : le *Borland Database Engine* (BDE), un noyau stable, complet et puissant.

Les données que renferme cette base de données ne concernent que celle liées au transport aérien algérien pour la période comprise entre 2009 et 2011. Néanmoins, ces données ne sont pas actualisées et ne reflètent pas la réalité du pays.

III.2. Constitution de la base de données

Afin de constituer cette base de données, une collecte de données au niveau des organismes concernés à été effectué notamment les compagnies aériennes algériennes (Air Algérie et Air Tassili). Ces données sont basées sur les informations fournies par ces organismes, on est donc pas responsable de l'exactitude de ces informations.

III.2.1. Parc aérien

Le parc aérien est le nombre d'aéronefs tous types confondus comptabilisé à l'échelle nationale à une date donnée.

Dans cette partie, l'objectif est de déterminer le parc aérien afin d'étudier les émissions polluantes de dresser l'inventaire des émissions polluantes par type de polluant pour chaque type d'appareil et l'inventaire global de tout le parc.

L'autre objectif est de déterminer les paramètres d'usage des aéronefs tel que le nombre de vols annuels effectués, les modèles de moteurs qui les équipent et la quantité de carburant brûler.

Ce sont des paramètres de base de calcul des émissions polluantes. Les facteurs d'émission ainsi que les quantités de chaque polluant pour chaque type de moteur est tiré de la base de données de L'OACI

Le transport aérien algérien n'est soumis à quelconque réglementation en terme d'émission compte tenu l'absence de normes jusqu'à 2010 où la première norme est adoptée. Et ce ci ne compte que les émissions en CO2 du carburant brûlé.

Le tableau ci-après représente la totalité du parc aérien algérien, par type d'appareil de par model de moteur qu'il l'équipe

| Compagnie | A/C Type | Immatriculation | Motorisation |
|-------------|----------|-----------------|----------------|
| Air Algérie | A330-202 | 7T-VJV | GE CF6-80E1 A4 |
| | A330-202 | 7T-VJW | GE CF6-80E1 A4 |
| | A330-202 | 7T-VJX | GE CF6-80E1 A4 |
| | A330-202 | 7T-VJY | GE CF6-80E1 A4 |
| | A330-202 | 7T-VJZ | GE CF6-80E1 A4 |
| | B767-300 | 7T-VJG | GE CF6-80C2B2F |
| | B767-300 | 7T-VJG | GE CF6-80C2B2F |
| | B767-300 | 7T-VJI | GE CF6-80C2B2F |
| | B767-800 | 7T-VJJ | CFM56-7B27 |
| | B767-800 | 7T-VJK | CFM56-7B27 |
| | B767-800 | 7T-VJL | CFM56-7B27 |
| | B767-800 | 7T-VJM | CFM56-7B24 |
| | B767-800 | 7T-VJN | CFM56-7B24 |
| | B767-800 | 7T-VJO | CFM56-7B24 |
| | B767-800 | 7T-VJP | CFM56-7B24 |
| | B767-800 | 7T-VKA | CFM56-7B27 |
| | B767-800 | 7T-VKB | CFM56-7B27 |
| | B767-800 | 7T-VKC | CFM56-7B27 |
| | B767-800 | 7T-VKD | CFM56-7B27 |
| | B767-800 | 7T-VKE | CFM56-7B27 |
| | B767-800 | 7T-VKF | CFM56-7B27 |
| | B767-800 | 7T-VKG | CFM56-7B27 |
| | B767-800 | 7T-VKH | CFM56-7B27 |
| | B767-800 | 7T-VKI | CFM56-7B27 |
| | B767-800 | 7T-VKJ | CFM56-7B27 |
| | B767-600 | 7T-VJQ | CFM56-7B22 |
| B767-600 | 7T-VJR | CFM56-7B22 | |

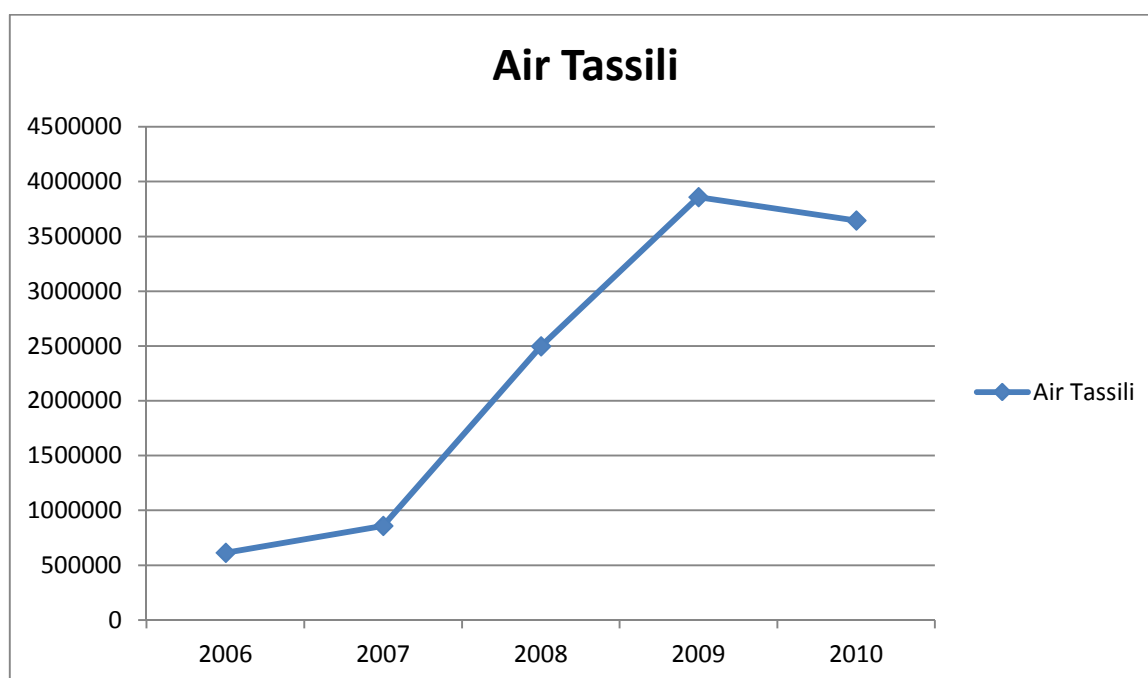
| | | | |
|-------------------|-------------|-----------------|---------------|
| | B767-600 | 7T-VJS | CFM56-7B22 |
| | B767-600 | 7T-VJT | CFM56-7B22 |
| | B767-600 | 7T-VJU | CFM56-7B22 |
| | ATR72-212A | 7T-VUI | PW 127 F |
| | ATR72-212A | 7T-VUJ | PW 127 F |
| | ATR72-212A | 7T-VUK | PW 127 F |
| | ATR72-212A | 7T-VUL | PW 127 F |
| | ATR72-212A | 7T-VUM | PW 127 F |
| | ATR72-212A | 7T-VUN | PW 127 F |
| | ATR72-212A | 7T-VVQ | PW 127 F |
| | ATR72-212A | 7T-VVR | PW 127 F |
| | ATR72-212A | 7T-VUO | PW 127 F |
| | ATR72-212A | 7T-VUP | PW 127 F |
| | ATR72-212A | 7T-VUQ | PW 127 F |
| | ATR72-212A | 7T-VUS | PW 127 F |
| L100-30(382G-69C) | 7T-VHL | ALLISON 501D22A | |
| Tassili Airlines | B737-800 | 7T-VCA | CFM56-7B27/3 |
| | B737-800 | 7T-VCB | CFM56-7B27/3 |
| | DASH8/Q400 | 7T-VCL | PW150A |
| | DASH8/Q400 | 7T-VCM | PW150A |
| | DASH8/Q400 | 7T-VCN | PW150A |
| | DASH8/Q400 | 7T-VCO | PW150A |
| | DASH8/Q200 | 7T-VCP | PW123D |
| | DASH8/Q200 | 7T-VCQ | PW123D |
| | DASH8/Q200 | 7T-VCR | PW123D |
| | DASH8/Q200 | 7T-VCS | PW123D |
| | PILATUS PC6 | 7T-VCG | PT6A-27A |
| | PILATUS PC6 | 7T-VCH | PT6A-27A |
| | PILATUS PC6 | 7T-VCI | PT6A-27A |
| | PILATUS PC6 | 7T-VCJ | PT6A-27A |
| | PILATUS PC6 | 7T-VCK | PT6A-27A |
| | BE1900D | 7T-VIO | PT6A-67D |
| | BE1900D | 7T-VIP | PT6A-67D |
| | BE1900D | 7T-VIQ | PT6A-67D |
| | CESSNA 208 | 7T-VIG | PT6A-114A |
| | CESSNA 208 | 7T-VII | PT6A-114A |
| | CESSNA 208 | 7T-VIL | PT6A-114A |
| | CESSNA 208 | 7T-VIM | PT6A-114A |
| | SA 316B | 7T-WUC | ARTOUSTE IIIB |
| | SA 316B | 7T-WUD | ARTOUSTE IIIB |
| | BELL L3/L4 | 7T-WUE | RR-250-C30P |
| | BELL L3/L4 | 7T-WUF | RR-250-C30P |
| | BELL L3/L4 | 7T-WUH | RR-250-C30P |
| | BELL L3/L4 | 7T-WUJ | RR-250-C30P |
| | BELL L3/L4 | 7T-WUK | RR-250-C30P |
| | BELL L3/L4 | 7T-WUL | RR-250-C30P |
| BELL L3/L4 | 7T-WUM | RR-250-C30P | |

Tableau (III.1): Parc aérien algérien

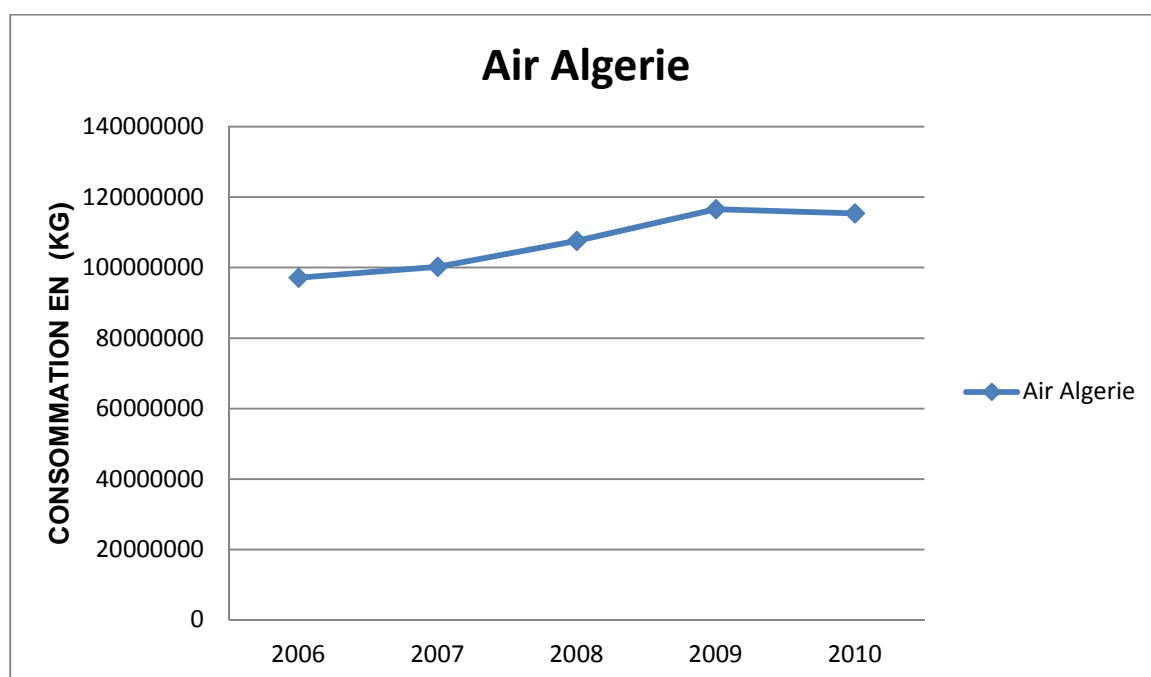
II.2.2. Consommation en carburant

Les trois types de carburant motorisant les aéronefs sont l'essence avion (AvGas), carburéacteur coup (jet B), et le Kérosène (jetA1 ou jetA).

Le jet A1 étant le carburant utilisé pour notre parc aérien ,on a enregistré une consommation de **15114510,24 (Hl)** soit **548471,7496 (t)** durant la période allant de 2006 à 2010 et en nette progression en raison de l'augmentation de l'activité aérien (figure (III.1))



Figure(III.1) : Consommation en carburant de TAL entre 2006 et 2010.



Figure(III.2) : Consommation en carburant de Air Algérie entre 2006 et 2010.

III.2.3. Le but de l'application

En exploitant la base de données, notre application (EEC) va contribuer à calculer les polluants issus du trafic aérien algérien afin de réaliser les buts cités précédemment et plus exactement dans le calcul des paramètres suivants :

- La quantité de dioxyde de carbone éjectée
- La quantité de vapeur d'eau éjectée.
- La quantité d'oxyde azote éjectée.
- La quantité monoxyde de carbone éjectée.

Cette application peut être destinée à :

- Schématiser ces paramètres dans des graphes.
- Archiver les données de la consommation et du temps de vol
- Visualiser les paramètres moteur en matière de certification aux émissions moteurs et ceux selon les exigences de l'OACI.

La figure ci-dessous résume le schéma synoptique du fonctionnement de l'interface avec le cheminement des données :

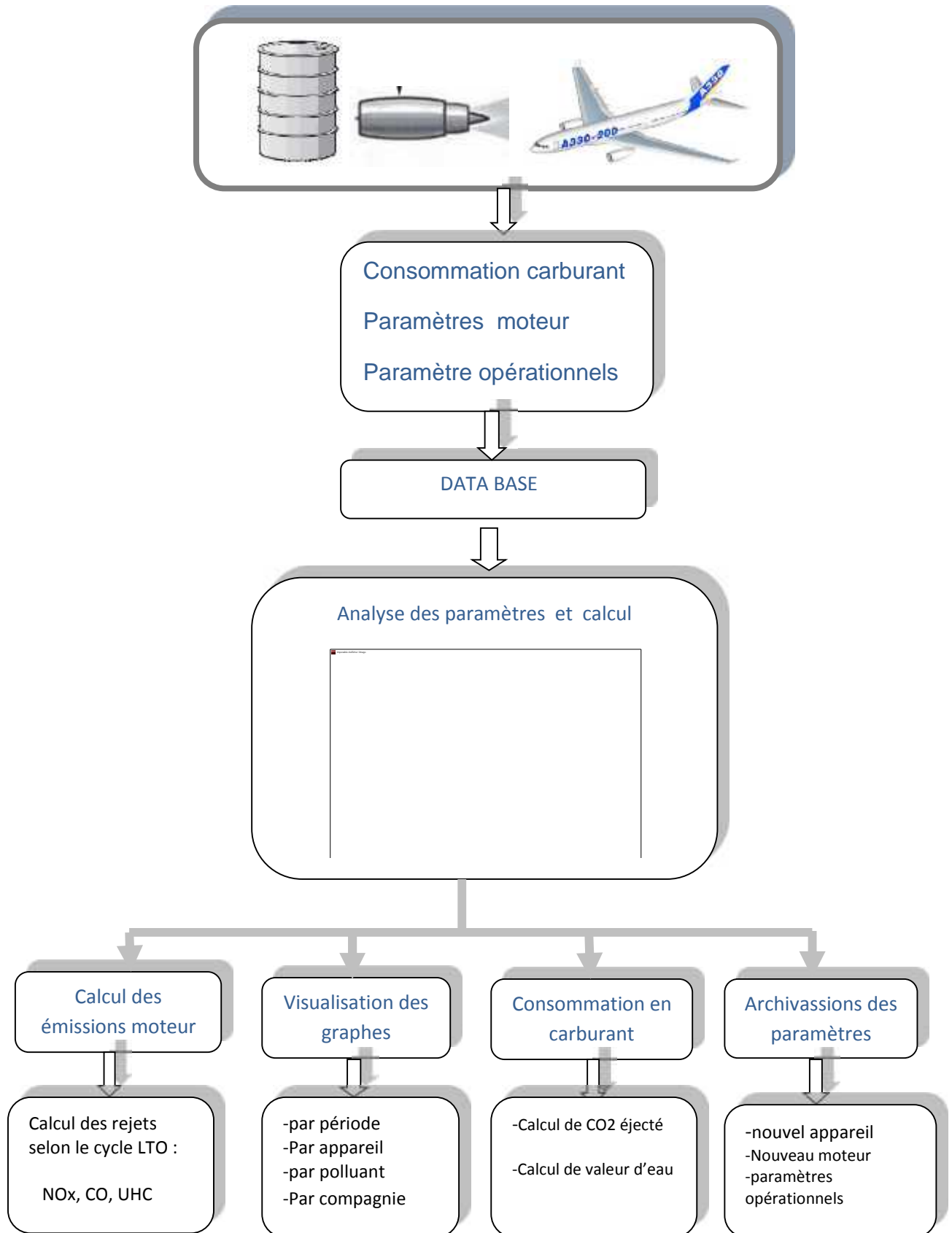


Figure (III.3) : Schéma synoptique de l'application

III.3. Manipulation de l'application

La première interface nous permet d'accéder à l'application par insertion d'un mot de passe.



Figure (III. 4) : Interface d'accès à l'application

L'interface suivante est ne interface de présentation, elle permet de passer au menu principale ou de quitter l'application.

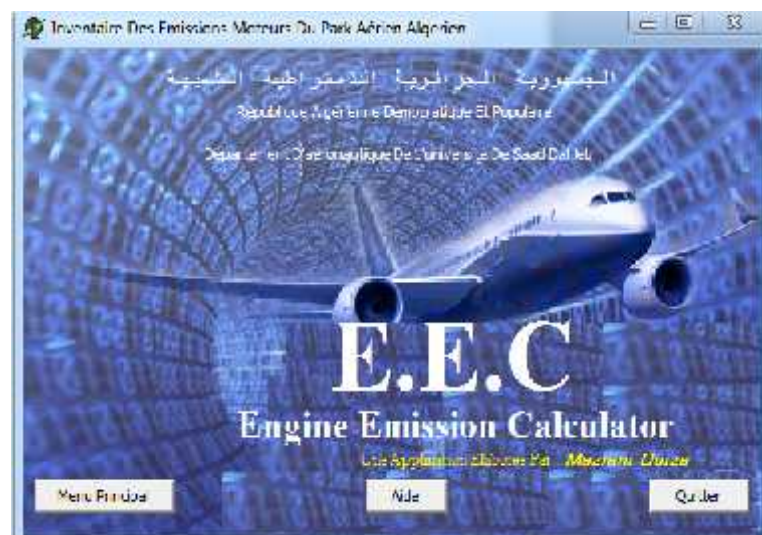


Figure (III. 5) : Interface de présentation.

Le menu principal nous permet d'effectuer plusieurs fonctions

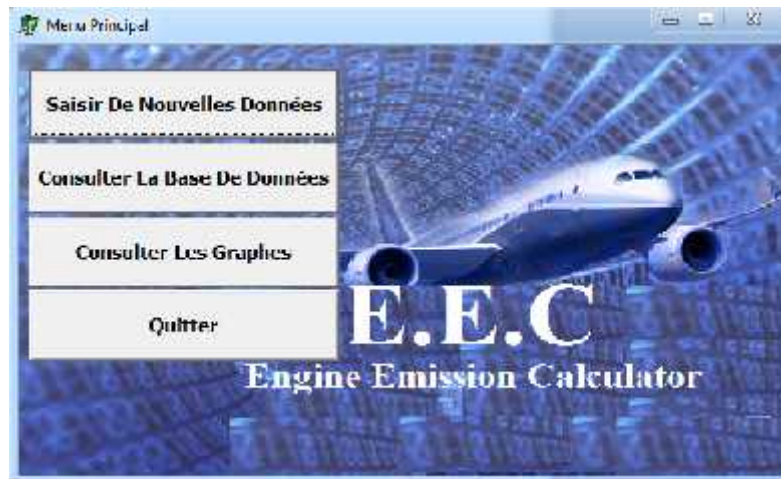


Figure (III.6) : Menu principale.

III.3.1. La saisie de nouvelles données

Un choix des données à saisir est proposé :

- Données sur appareils.
- Données sur moteurs.
- Données su consommation carburant.

Le bouton « Menu Principal » permet de revenir à l'interface précédente.

Le bouton « Quitter » permet de sortir de l'application.

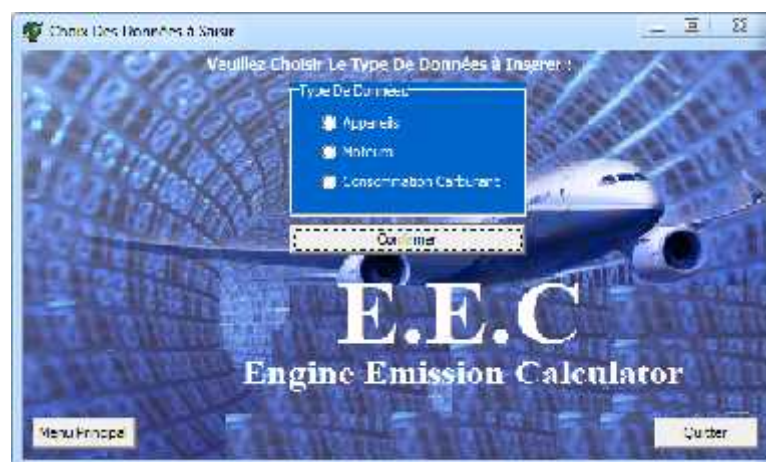


Figure (III. 7) : Choix des données à saisir.

Si le choix de type des données choisit est « appareil » alors l'interface de saisie prend la forme suivante :

Figure (III.8) : Interface de données sur appareils.

Les données saisis sur cette interface et en cliquant sur le bouton « confirmer » puis « ajouter » seront archivés dans la base de données « appareil ». Cette interface permet aussi d'enlever un appareil de la base, revenir au menu principale ou quitter l'application.

Si le choix de type des données choisit est « Moteur » alors l'interface de saisie prend la forme suivante :

Figure (III. 9) : Interface de données sur moteurs.

Les données sont saisies sur cette interface selon les exigences de l'OACI (Annexe 16 Vol II). Les données confirmées et ajoutées seront archivées dans la base de données « moteur ».

On peut également retirer un moteur de cette base, revenir au menu principal ou quitter l'application.

III.3.2. Visualiser les bases de données.

Une interface qui regroupe les bases de données apparaît (appareil, moteur et carburant).

Cette interface permet de visualiser les résultats des calculs des polluants :

- Les polluants du cycle LTO (CO, UHC, NOx).
- Les polluants éjectés selon la consommation en carburant (CO₂, H₂O)

Le calcul est lancé en cliquant sur la touche « Calcul ».

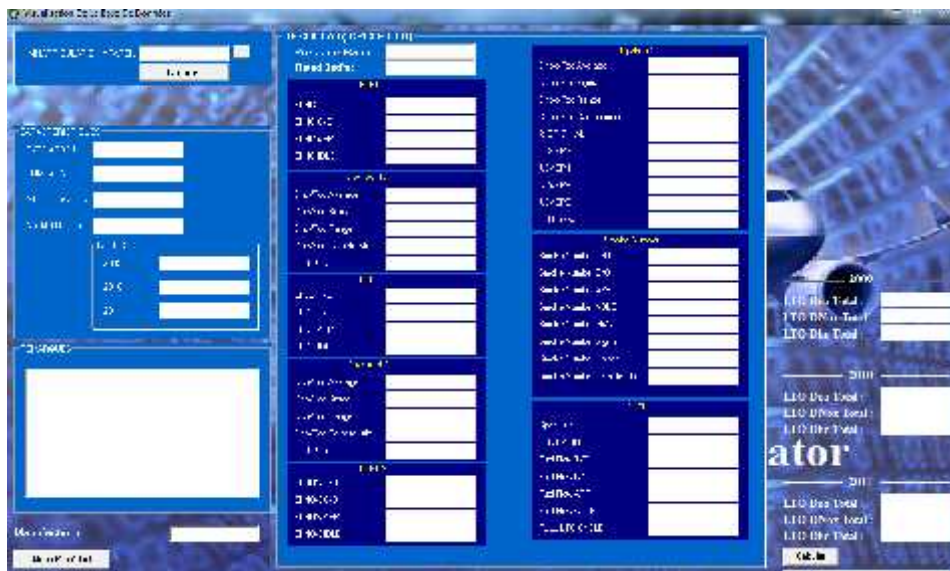


Figure (III. 10) : visualisation de la base de données.

L'instruction « Immatriculation appareil » permet de choisir l'appareil dont on veut connaître les détails.

Une liste des matricules des appareils disponibles sur notre base de données permet de faciliter la sélection de l'appareil.

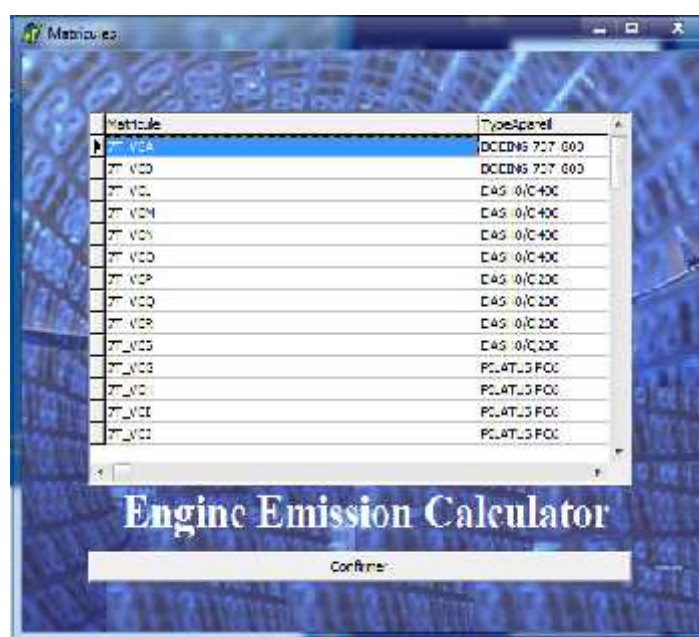


Figure (III.11) : Matricule appareils.

Si la matricule choisit désigne un appareil équipé d'un turbopropulseur alors les informations qui apparaissent sont celle de l'appareil et de sa consommation et un message apparaît pour rappeler que ce type de moteur ne sont pas réglementés par rapport aux émissions moteurs, donc seul les rejets en CO₂ et en H₂O sont calculés

III.3.3. Consulter les graphes

Un choix des types des graphes est proposé :

- Graphes appareil.
- Graphes compagnies.
- Graphes global.

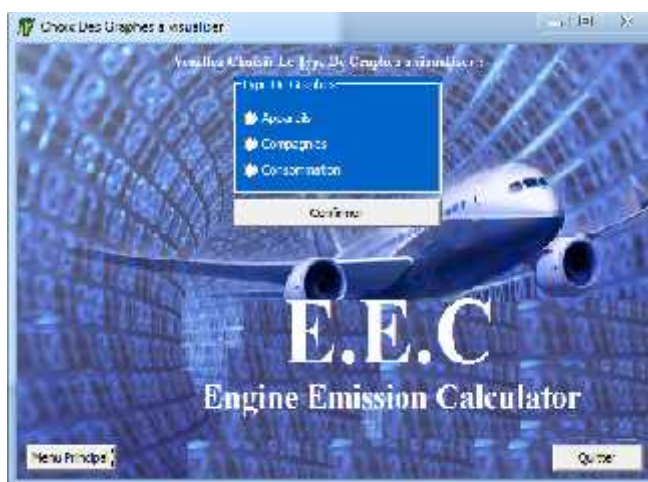
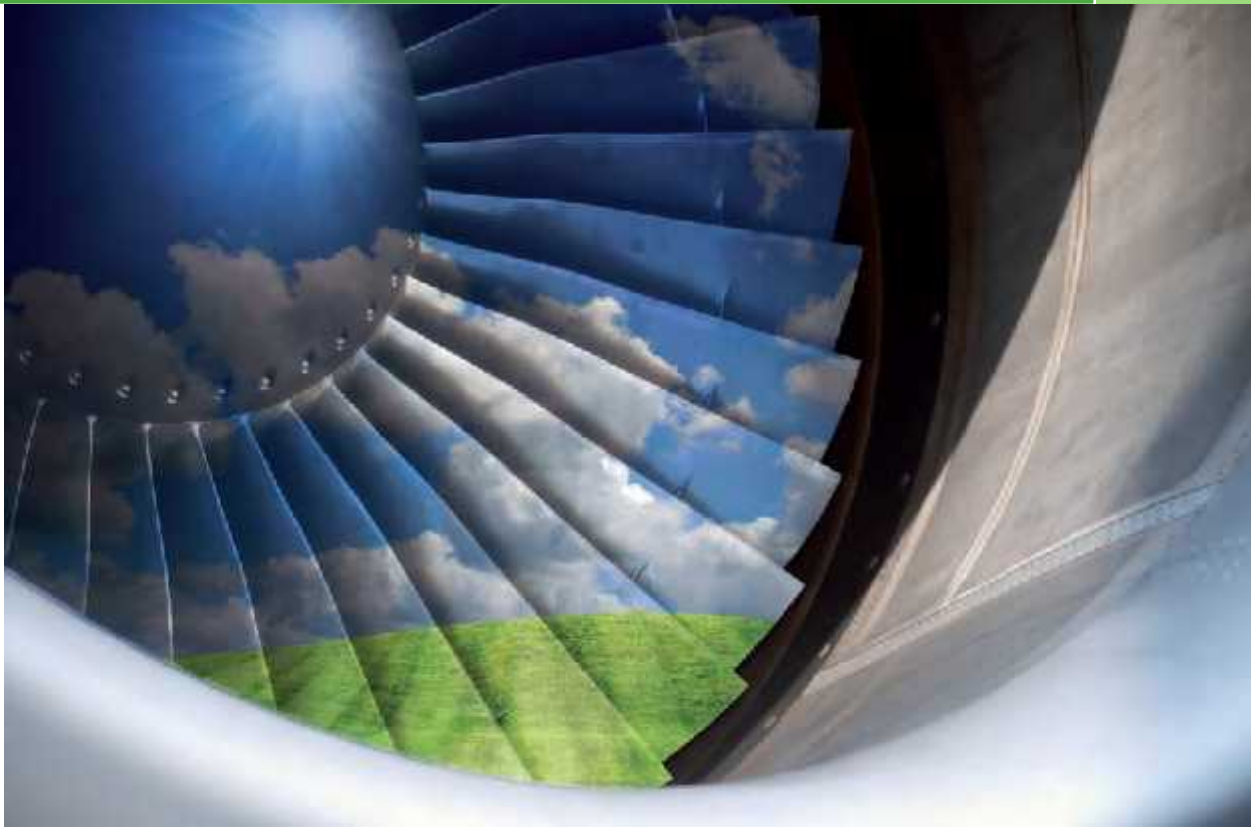


Figure (III.12) : Choix des graphes.

Les graphes que fait ressortir l'application est la base de ce travail, ils permettent de réaliser un inventaire sur les émissions moteur du parc aérien algérien (Chapitre IV) sur une période allant de 2009 à 2011 et le choix de cette période est basé sur les données qu'on a pu récolter aux seins des compagnies.

Chapitre IV

Inventaire des émissions polluantes



IV.1. Introduction

EEC (Engine Emission Calculator) permet, à partir des bases statistique du trafic aérien algérien, de quantifier les émissions gazeuses (CO₂, NO_x ...) par mouvement selon le type avion, le type moteur, voire par exploitant, en distinguant le LTO (phase de vol < à 1000m) de la croisière (phase de vol > à 1000m), la quantité de carburant transportés étant connus pour chaque période.

Pour cela, le calculateur estime, pour chaque mouvement, et applique différents coefficients d'émissions (fonction du type avion et du type moteur – bases certifiées OACI) sur chaque phase du vol modélisé dans l'espace (opérations au sol, montée, descente, croisière).

En termes de transport aérien, les émissions de chaque vol sont décomposées en « Landing and takeoff » (LTO) et en « Croisière ». Pour établir le bilan des émissions gazeuses d'un aéroport, liées au trafic aérien, il est convenu de prendre en compte le cycle LTO de l'ensemble des vols. Ainsi, les émissions sont calculées pour chaque mouvement (à l'arrivée et au départ).

Les émissions gazeuses liées à la « Croisière » sont données à titre d'information. Dans ce cas, il s'agit du CO₂ et du H₂O (vapeur d'eau).

Note :

- *Les statistiques de l'année 2011 regroupent celles des 6 premiers mois, soit jusqu'au mois de juin.*
- *On a pu récolter des données de consommation pour une période allant de 2006 à 2011, les résultats donc liés à la consommation seront exprimé pour cette période.*

IV.2. Bilan des émissions moteur

IV.2. 1. Les émissions liées au cycle LTO.

IV.2. 1. 1. Emission par appareil.

Chaque type d'avion a ses rejets en CO, NOx, UHC selon le cycle LTO les figures suivantes montre les proportions des ces rejets pour quelques types d'appareil (on prend en considération les avions équipés de turboréacteurs)

- **Le Boeing 737-800.**

Les figure suivantes représentent les émissions du cycle LTO pour 3 Boeing 737-800 différents par les moteurs qui les équipent, en effet le 737-800 représenté dans la figure (IV-1) et un appareil de TAL équipé d'un CFM56 7B27/3.

Comparé au Boeing 737-800 de Air Algérie représenté sur la figure (IV-2) ; Le CFM56-7B/3 est en configuration Tech Insertion qui réduit la consommation en carburant et répond aux nouvelles normes de protection environnementale CAEP/6 de l'OACI. On remarque que les rejets en NOx sont largement réduits par rapport à l'autre.

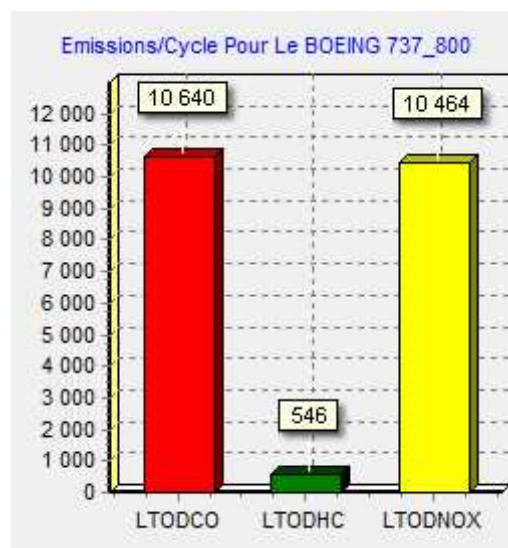


Figure (IV. 1) : Les émissions du 737-800 de TAL selon le cycle LTO (CFM56 7B27/3)

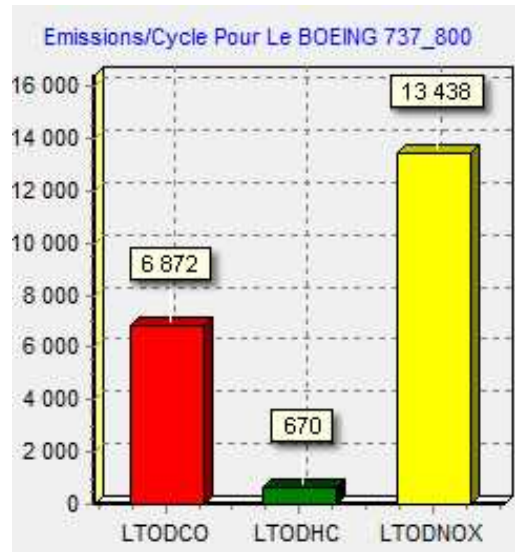


Figure (IV. 2) : Les émissions du 737-800 de Air Algérie selon le cycle LTO (CFM56 7B27)

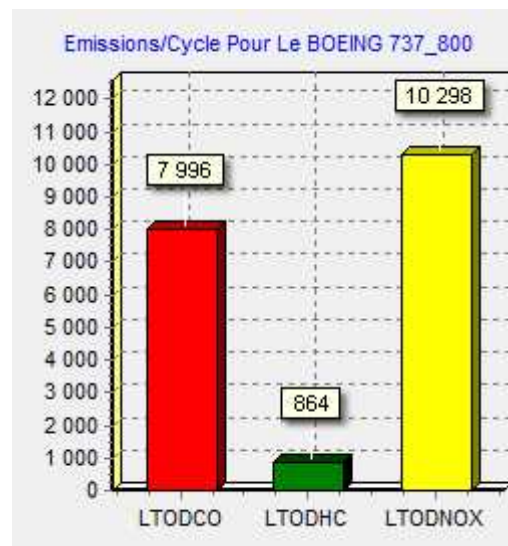


Figure (IV.3) : Les émissions du 737-800 de Air Algérie selon le cycle LTO (CFM56 7B24)

On remarque que la plupart des émissions sont des NOx, vient en deuxième position les émissions en CO et les UCH en petit proportion.

- **Le Boeing 737-600.**

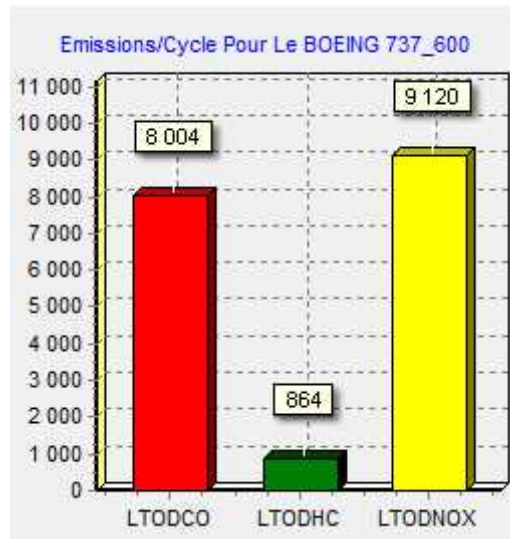


Figure (IV. 4) : Les émissions du 737-600 de Air Algérie selon le cycle LTO (CFM56 7B22)

Sur cet appareil équipé d'un CFM56 7B22 les rejets en NOx, sont sensiblement faibles par rapport aux moteurs précédents.

- **Airbus A330-200**

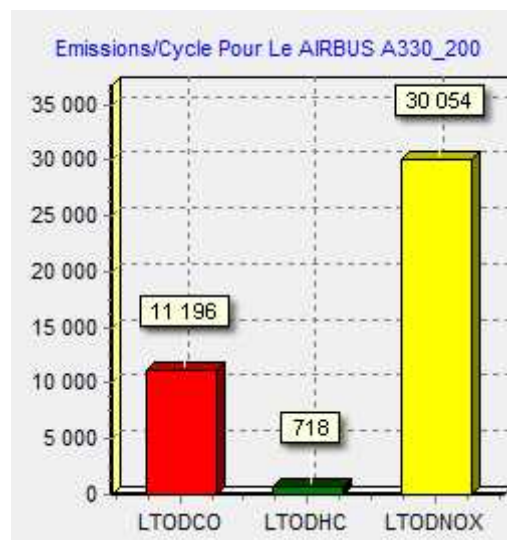


Figure (IV. 5) : Les émissions du A330-200 de Air Algérie selon le cycle LTO (GE CF6680E2A4)

Cet appareil est équipé d'un GE CF6680E2A4 les émissions en NOx et CO son considérablement élevées, jusqu'à 0.3 tonne de NOx par et 0.11 tonne de CO par cycle.

- **Le Boeing 767-300**

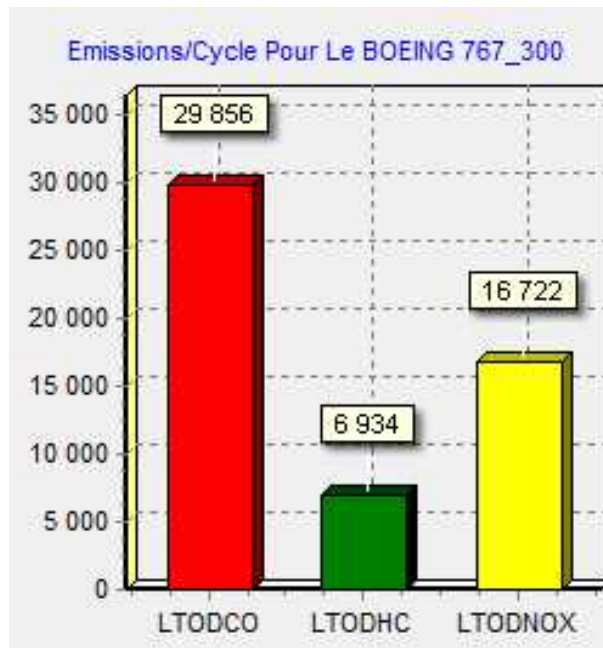


Figure (IV. 6) : Les émissions du B767-300 de Ai Algérie selon le cycle LTO (GE CF6680C2B2F)

Cet appareil est équipé d'un GE CF6680C2B2F, les émissions en CO sont très élevées par rapport à celles du NOx contrairement aux autres appareils où les NOx représentent la plus grosse part des totales émissions en cycle LTO, ceci est dû à la configuration du 1862M39 COMBUSTOR où on réduit les NOx mais la part des CO reste élevé.

Note :

L'EEC peut également afficher les quantités des polluants pour chaque appareil selon le nombre de mouvement qu'il a effectué et selon le temps. Les figure suivantes représente quelques exemples.

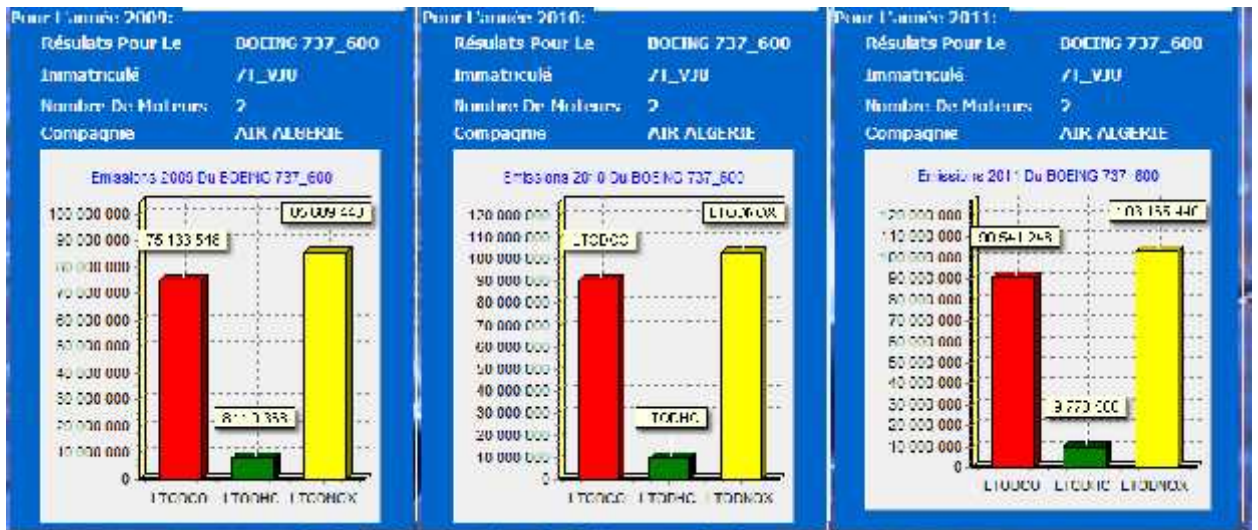


Figure (VI. 7) Les émissions du 737-600 pour la période 2009- 2011.

D'après la figure (VI.7), la quantité des polluants augmente chaque année avec l'augmentation du trafic aérien répondant à la demande du client.

IV.2. 1. 2. Emission par compagnie

Les figures suivantes montrent l'évolution des rejets du cycle LTO durant la période précisée.

- Flotte Air Algérie

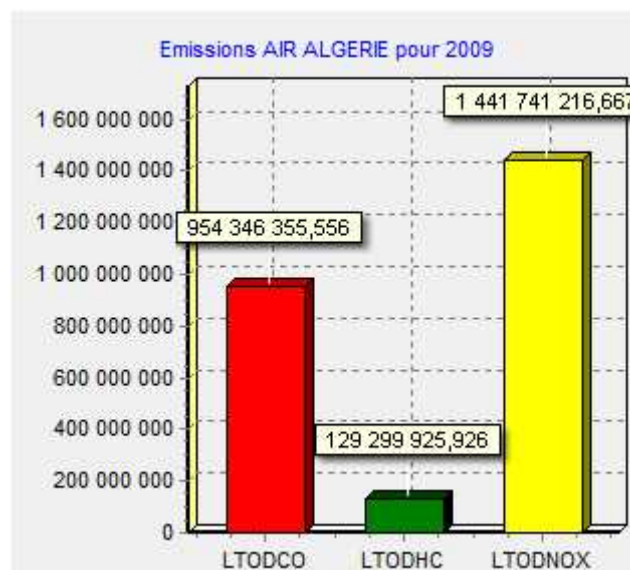


Figure (VI. 8) Les montants des rejets d'Air Algérie pour 2009

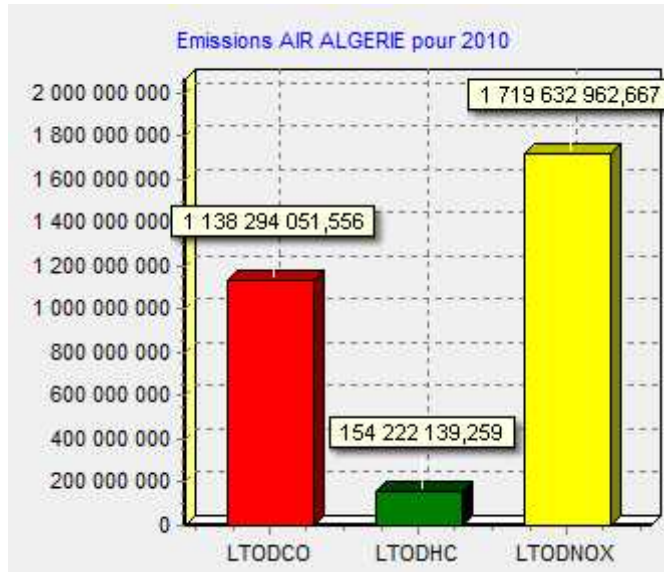


Figure (VI. 9) : Les montants des rejets d'Air Algérie pour 2010.

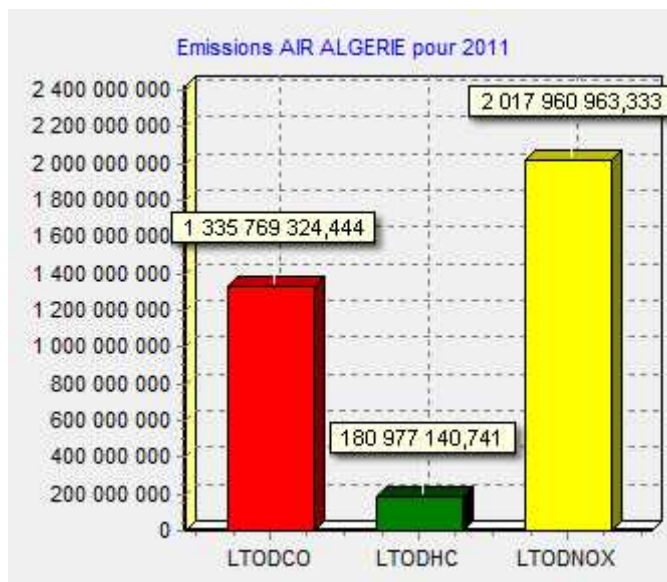


Figure (VI. 10) : Les montants des rejets d'Air Algérie pour 2011.

Un montant d'environ **5179** tonnes de NOX, **3428** tonnes de CO et **464** tonnes de UCH sont enregistrés pour la période allant de 2009 à 2011. Ces polluants représentent une proportion de **57%** de NOx, **38%** de CO et **5%** de UHC comme le montrent les figures suivantes :

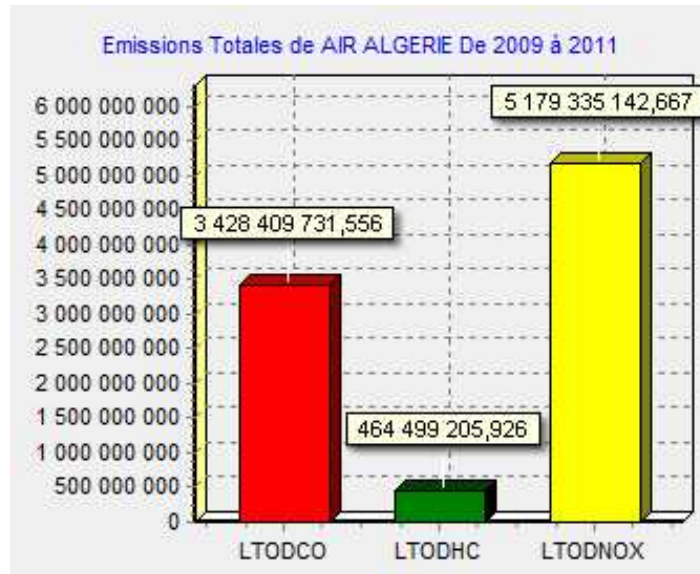


Figure (VI. 11) : Les émissions de la flotte Air Algérie pour la période 2006- 2011.

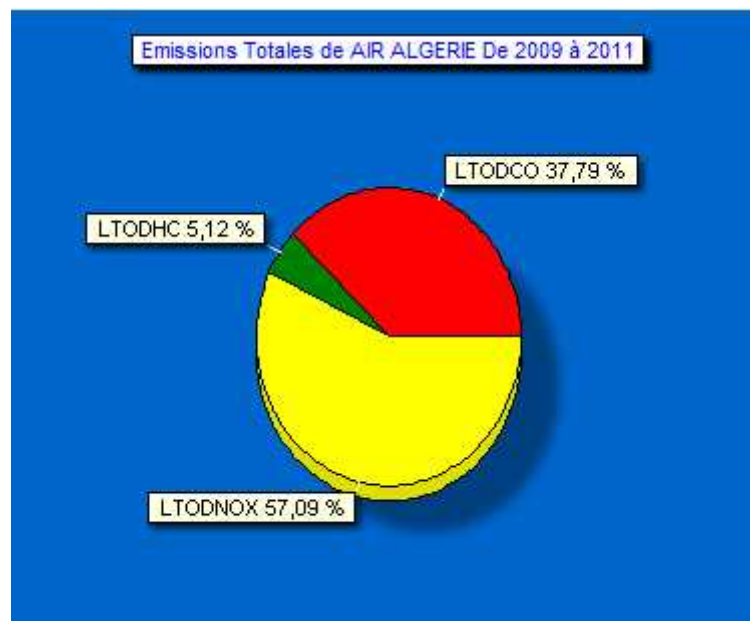


Figure (IV.12) : la part des polluants d'Air Algérie de 2009à 2011.

- **Flotte Air Tassili**

La plupart des appareils de TAL sont équipés de turbopropulseurs. Les deux Boeing B 737-800 sont les seuls appareils équipés de turboréacteur, ce sont par conséquent les seules sources de rejet par le cycle LTO.

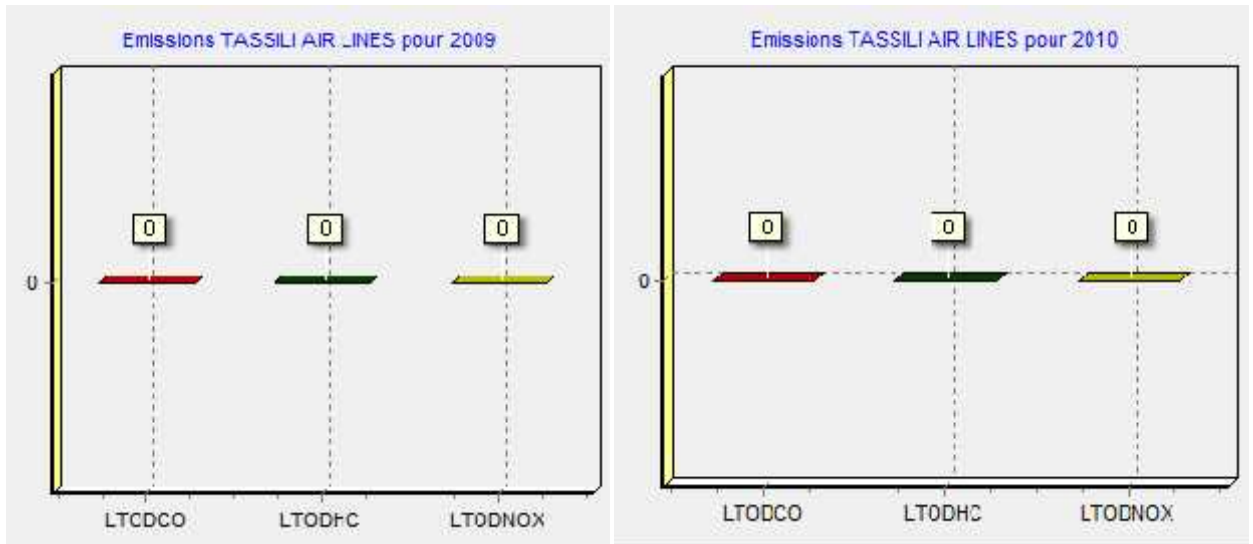


Figure (VI.13) : Les montants des rejets d’Air Algérie pour 2009 et 2010.

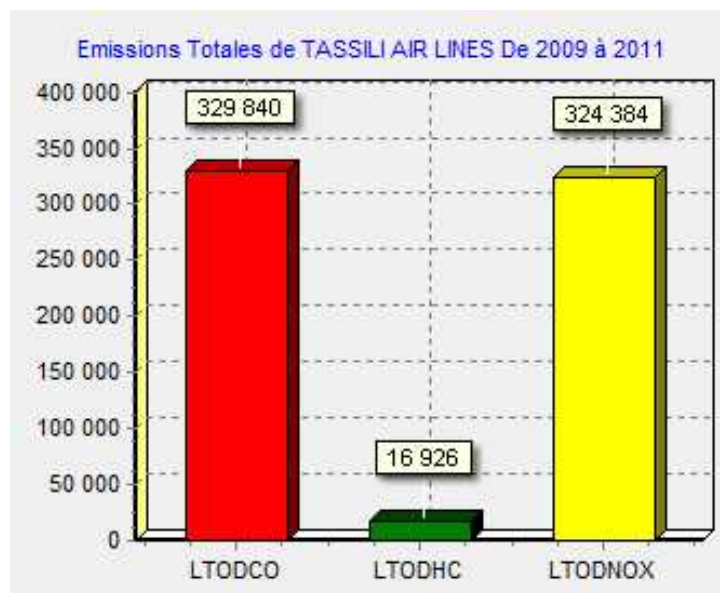


Figure (VI. 14) : Les montants des rejets d’Air Algérie pour 2011.

Les Boeing 737-800 ne sont entré en service qu’à partir de l’année 2011 on a donc enregistré des quantités d’environ **0.350** tonnes de CO et **0.35** tonnes de NOx et seulement **0.02** tonnes de UCH. Les graphes de la figure (VI.13) montrent **zéro** tonnes puisque l’appareil n’a effectué aucun déplacement. La figure suivante représente la part de chaque polluant :

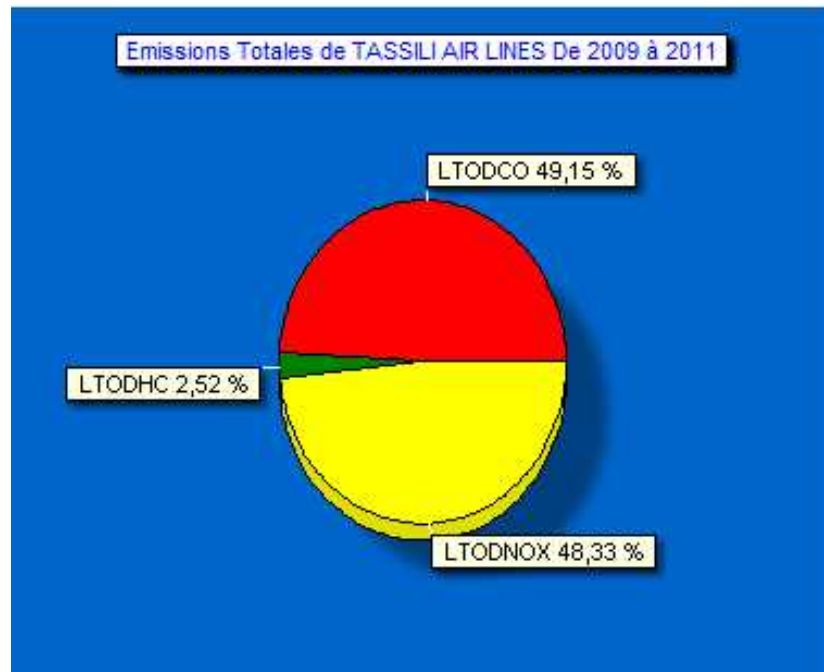


Figure (IV.15) : La part des polluants d'Air TAL de 2009 à 2011.

IV.2. 2. Les émissions en CO2 et en H2O.

IV.2.2.1.La consommation en carburant.

Les émissions en CO2 et vapeur d'eau sont liées directement à la consommation en carburant et ne cessent d'augmenter chaque année. Les figures suivantes montrent l'évolution des consommations de chacune des compagnies.

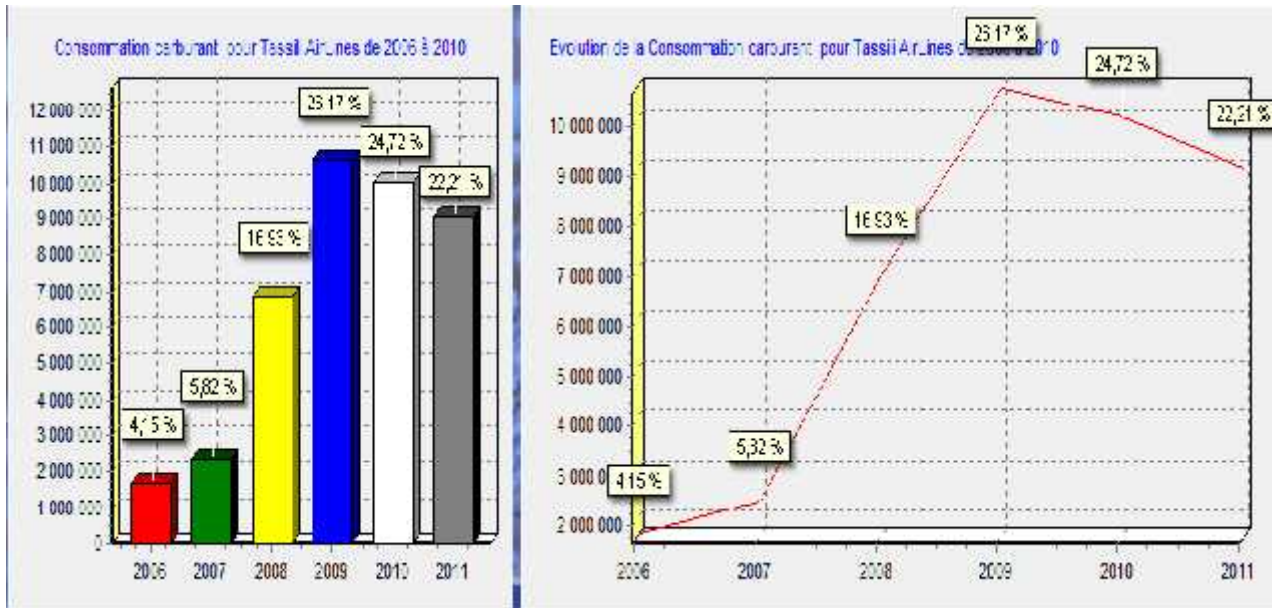


Figure (VI.16) Consommation en carburant de 2006 à 2011(TAL).

La consommation de TAL a pratiquement triplé entre 2007 et 2008 montrant ainsi le progrès de cette compagnie en matière de trafic.

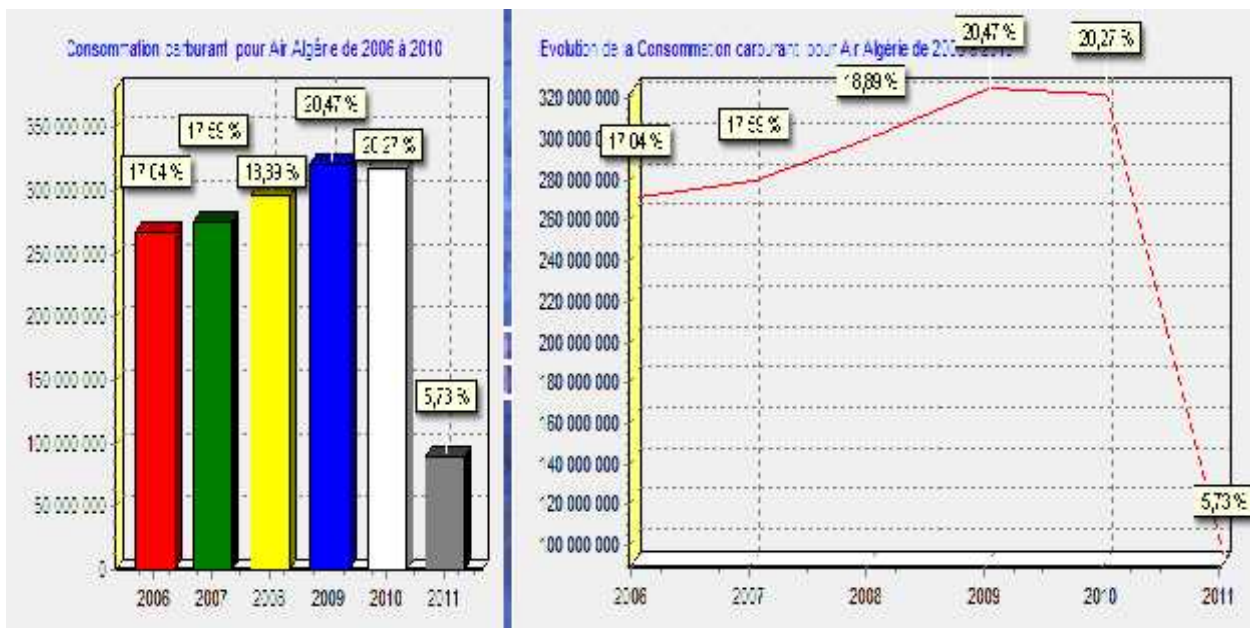


Figure (VI.17) : Consommation en carburant de 2006 à 2010. (Air Algérie).

La consommation en carburant d'Air Algérie augmente chaque année mais l'augmentation n'est pas très importante.

IV.2.2.2. Les émissions liées à la consommation.

Le développement du trafic aérien s'est accompagné d'une amélioration continue de l'efficacité énergétique : ainsi depuis 2006, les émissions de CO₂ et en vapeur d'eau ont augmentées. Les figures suivantes montrent le bilan des émissions en CO₂ et en vapeur d'eau pour chacune des compagnies

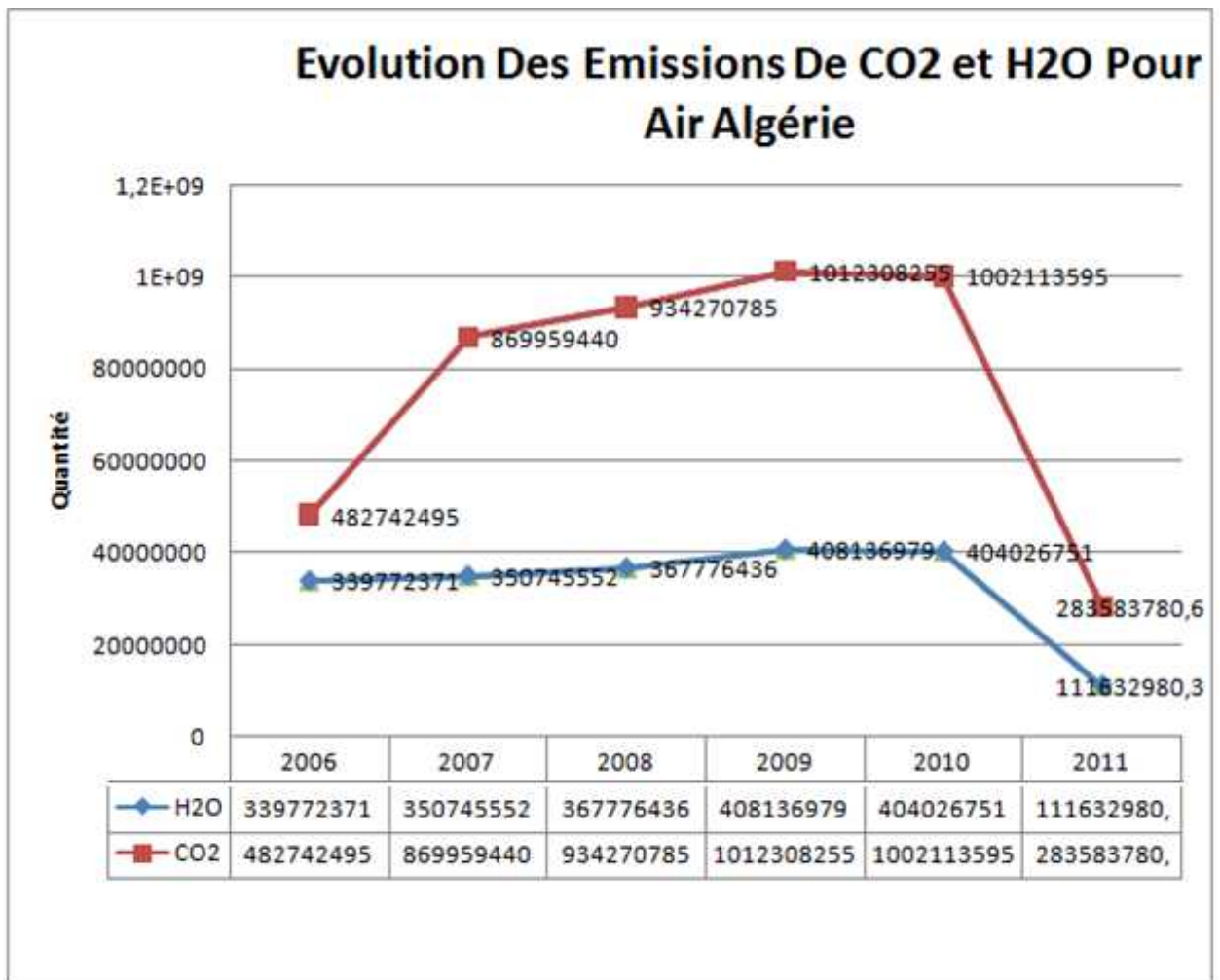


Figure (IV. 18) : Bilan de CO₂ d'Air Algérie selon la consommation

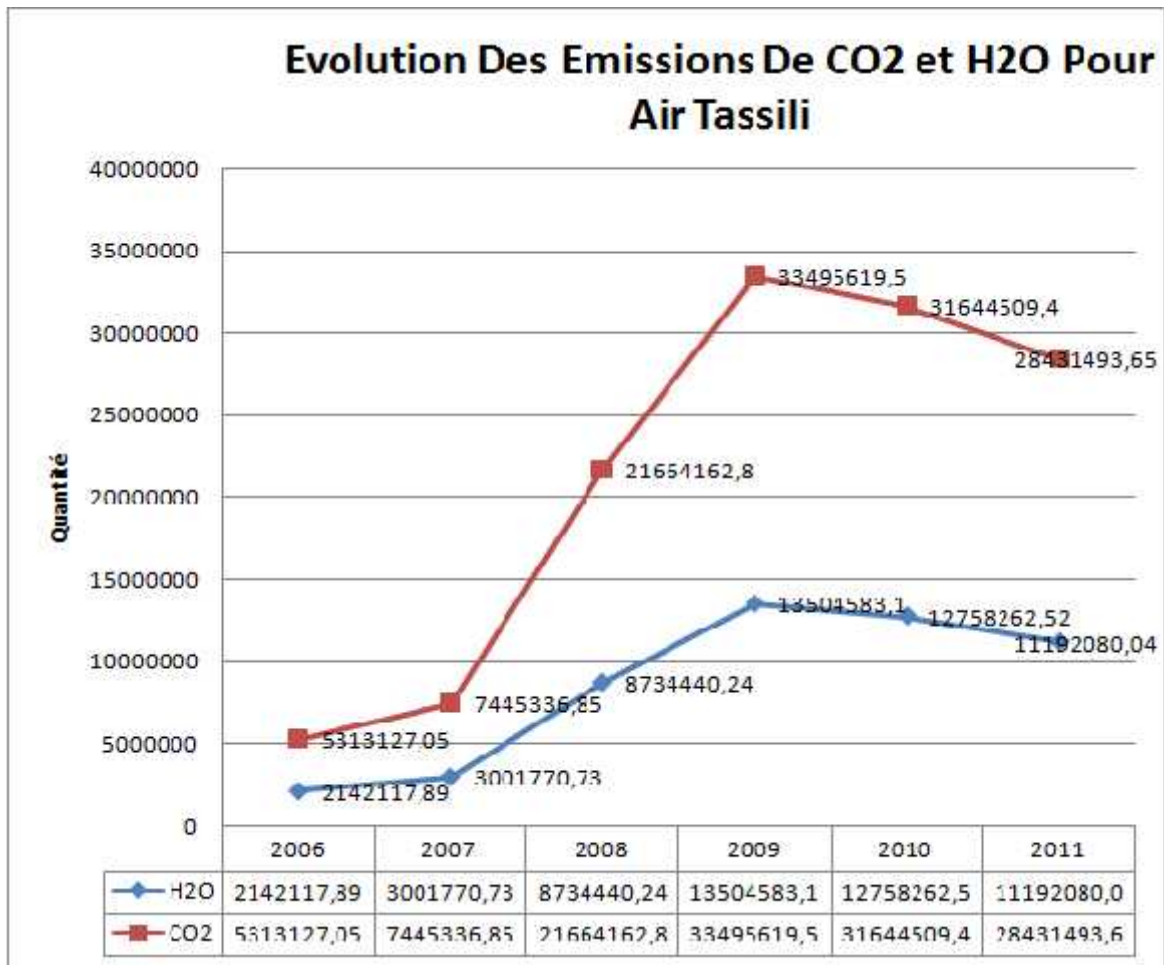


Figure (IV. 19) : Bilan de CO2 de TAL selon la consommation.

Les proportions des émissions de CO2 représente pratiquement le double des émissions en vapeur d'eau puisque 1 tonne de carburant donne **3.15** tonne de CO2 et **1.24** tonne de vapeur d'eau.

IV.2.3. Bilan total des émissions moteur

Les émissions liées à LTO, au cours de la période 2009- 2011, ont augmentées (Figure (VI. 20)). Durant cette période, la structure du trafic aérien à considérablement évolué. L'importance des mouvements court-courriers a diminué au profit des mouvements moyen-long courriers qui nécessitent l'exploitation de modules de taille plus importante et donc plus émetteur au décollage.

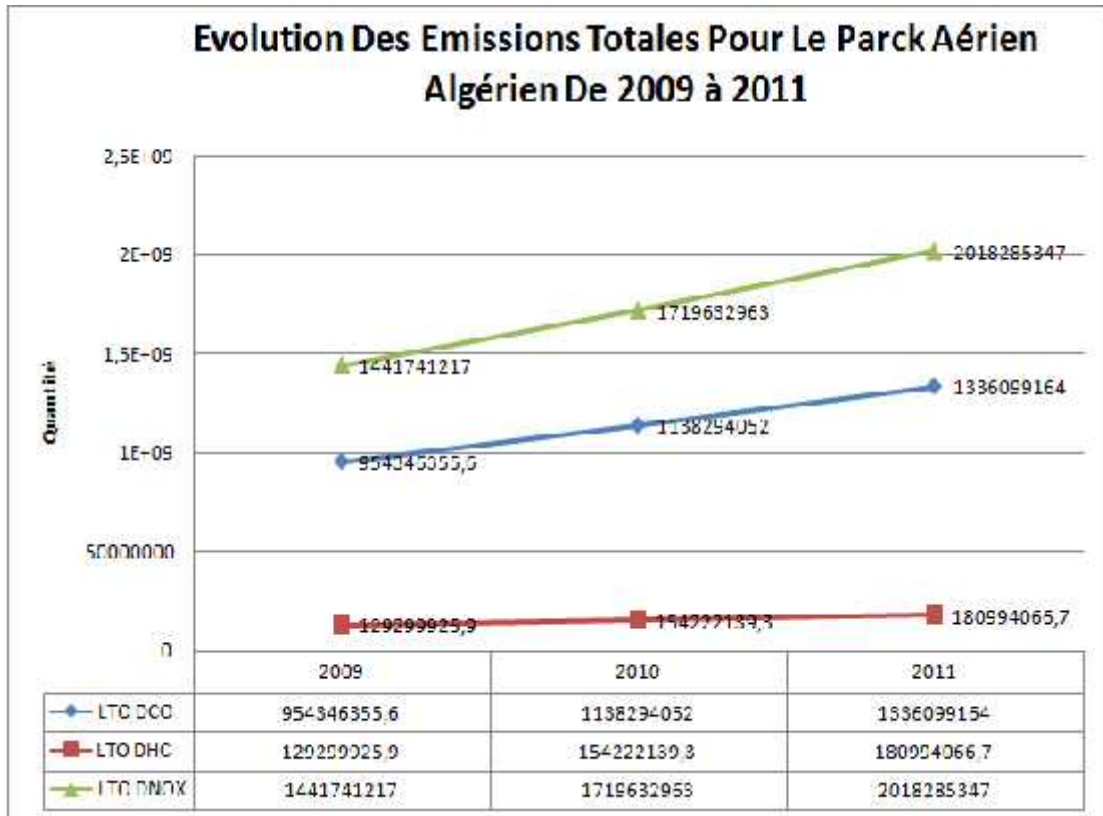


Figure (VI. 20) : Bilan des émissions LTO.

Un montant d'environ **5179** tonnes de NOX, **3428** tonnes de CO et **464** tonnes de UCH sont enregistrés pour la période allant de 2009 à 2011 (Figure (VI. 21))

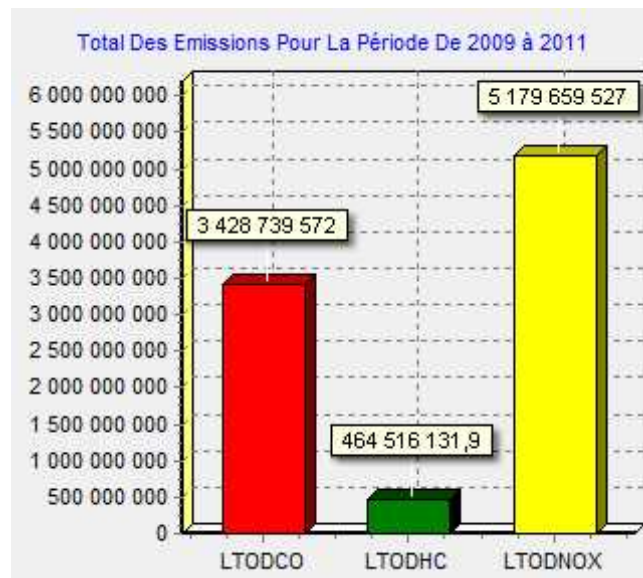


Figure (VI. 21) : Les émissions totales LTO pour la période 2006- 2011

Depuis 2006, les émissions de CO₂ liées au trafic sont en nette augmentation : **417** mille tonnes de CO₂ en 2010 contre **342** mille tonnes en 2006 d'une part, d'une autre part les émissions en vapeur d'eau représentaient 488 mille tonnes de vapeur en 2006 contre 104 mille en 2010.

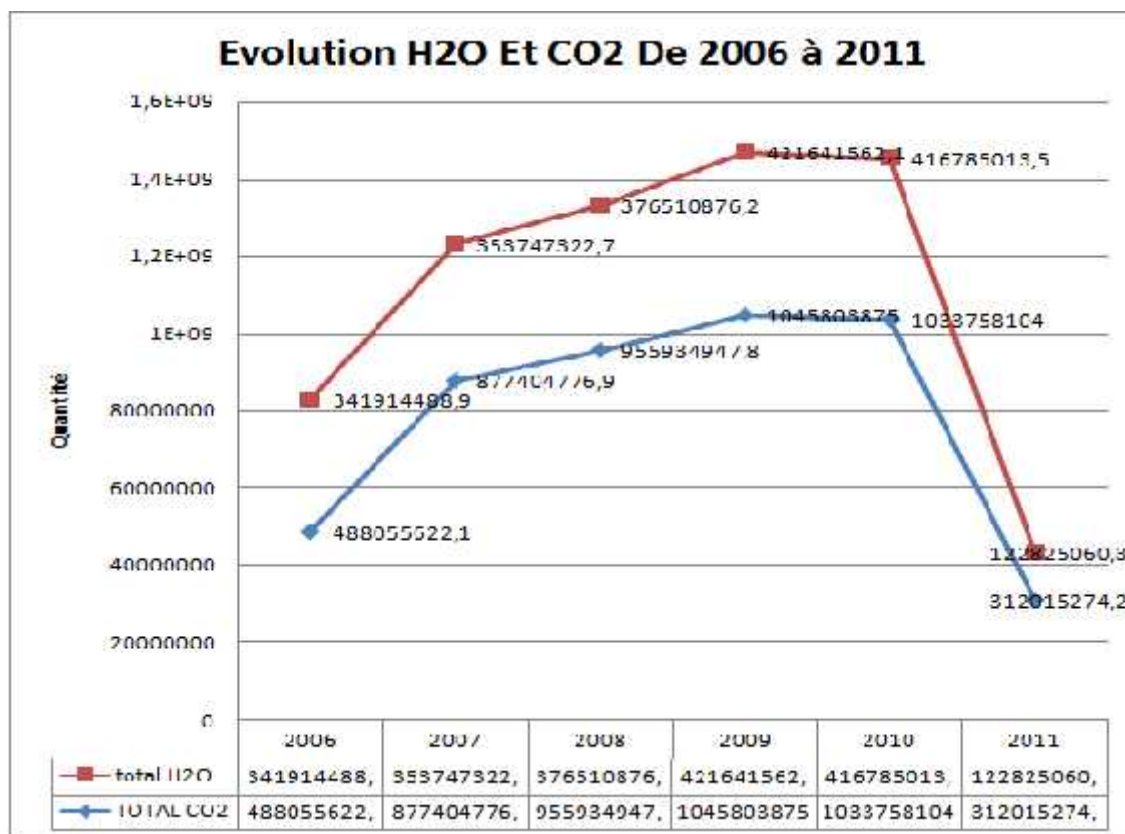


Figure (VI. 22) : Bilan des émissions CO₂ et en vapeur d'eau.

VI.3. Comparaison avec l'inventaire du CDG avec sont calculateur

TARMAAC

TARMAAC est le calculateur d'émissions gazeuses de la DGAC. Il fait intervenir d'une part, les méthodologies préconisées au niveau international pour les inventaires d'émissions (Corinair et Meet- Methodologies for Estimating air pollutant Emissions for Transport-) et d'autre part, les coefficients d'émissions de la base certifiée des émissions moteurs de l'OACI pour la phase LTO.

Il est notamment utilisé pour l'inventaire des émissions du trafic aérien de la France établi dans le cadre des engagements pris lors du protocole de Kyoto (niveau national), mais également pour quantifier les émissions moyennes par passager et par ligne, résultats fournis sur le calculateur en ligne (lien fourni en préambule) ou par aéroport. La méthodologie permet la mise en cohérence des émissions du transport aérien à l'ensemble des échelles d'étude. Un rééquilibrage du modèle est effectué chaque année en fonction des ventes réelles de carburant sur le sol national.

IV.3.1. Bilan des émissions gazeuses liées au trafic aérien Aéroport de Paris-Charles de Gaul

IV.3.1.1. Emissions en CO2

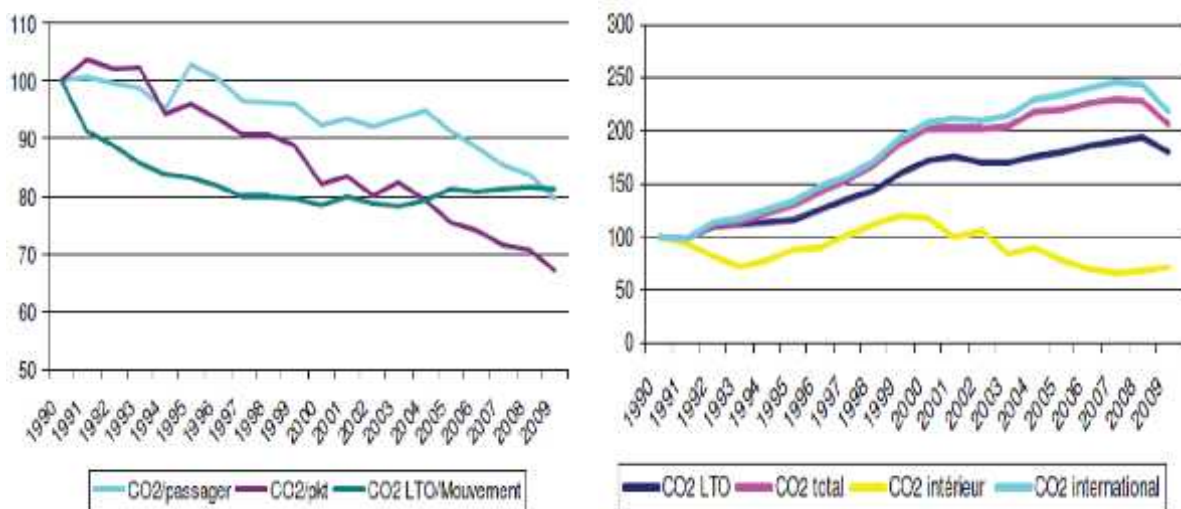


Figure (IV. 23) : Bilan de CO2 selon plusieurs paramètres.

Contrairement au EEC qui ne calcule que les émissions total de CO2, TARMAA Calcule ces émissions selon le cycle LTO, totales, par passager et par PKT .sont données Pour le Cycle LTO. Une base de données plus précise de l'état de mouvement permet de calculer les émissions pour le trafic intérieur et international

IV.3.1.2. Autres gaz

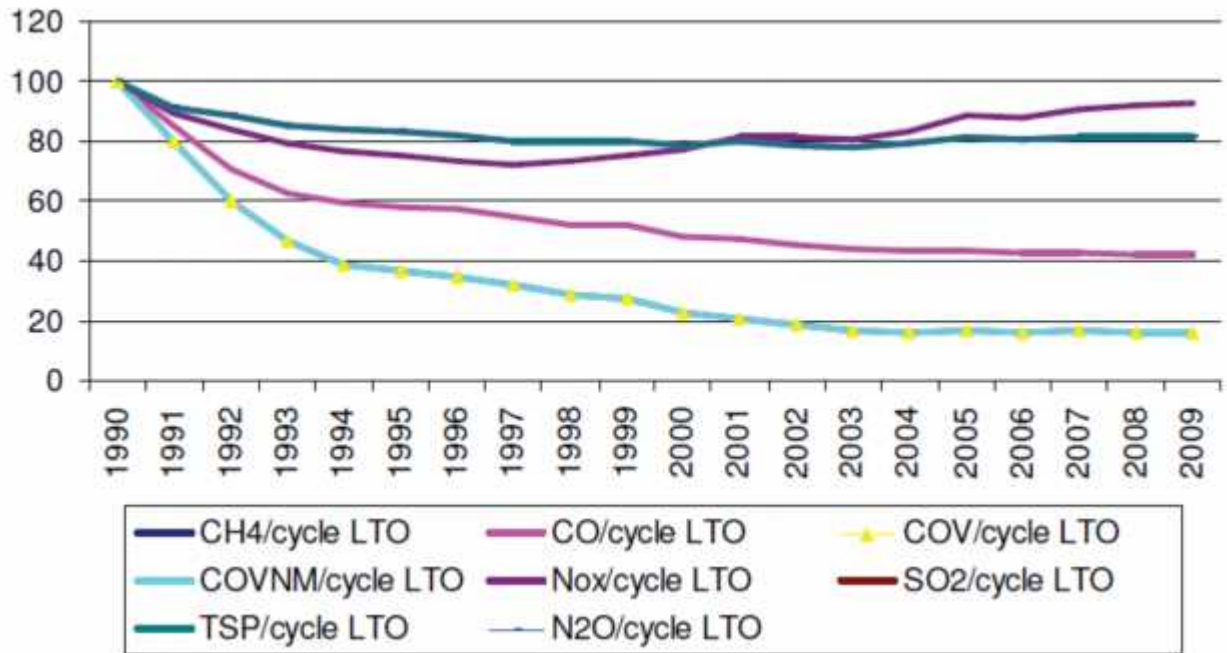


Figure (IV. 24) : Bilan des autres polluants.

Alors que EEC ne calcule que les rejets en NOX CO et UCH, TARMAAC offre la possibilité de calculer les divers polluant notamment les COV, N2O, SO2, TSP et COVNM.

Ces estimations calculé à l'aide de méthode international utilisées pour inventaire et une base de donnée plus réaliste et complète sont en cohérence avec les calcules des émissions en France et notamment celle relatives au transport aérien.

IV.4. Les options pour réduire les émissions et leurs effets

Il y a un éventail d'options pour réduire les effets des émissions de l'aviation, notamment des changements dans la technologie des aéronefs et des moteurs, les carburants, les pratiques opérationnelles et les mesures réglementaires et économiques. Elles pourraient être mises en œuvre individuellement ou en combinaison par le secteur public et/ou privé.

Les options d'atténuation de la vapeur d'eau et de la nébulosité n'ont pas été entièrement traitées. La sécurité de l'exploitation, la performance opérationnelle et environnementale et les

coûts sont les considérations dominantes lorsque l'industrie de l'aviation évalue de nouveaux achats de matériel volant ou d'éventuels changements techniques ou opérationnels.

IV.4.1.Options de technologie des aéronefs et des moteurs

Des progrès technologiques ont nettement réduit la plupart des émissions par passager-km, mais il reste encore de la place pour d'autres améliorations. Tout changement technologique peut comporter un équilibre entre différents effets environnementaux. Les avions subsoniques en production aujourd'hui ont un rendement énergétique par passager-km qui est environ 70 pour cent meilleur qu'il y a 40 ans. Cette progression a été réalisée dans sa majeure partie par des améliorations des moteurs, le reste par des améliorations dans la conception des cellules.

Une amélioration de 20 pour cent dans le rendement énergétique est projetée pour 2015, et une amélioration de 40 à 50 pour cent pour 2050, par rapport aux avions en production aujourd'hui. Les améliorations du rendement des moteurs réduisent la consommation spécifique et la plupart des types d'émissions; cependant, les traînées de condensation pourraient augmenter et, s'il n'y a pas de progrès dans la technologie des chambres de combustion, les émissions de NOx pourraient aussi augmenter.

La conception des futurs moteurs et des futures cellules fait intervenir un processus décisionnel complexe et un équilibre de considérations entre de nombreux facteurs (par exemple: émissions de dioxyde de carbone, émissions de NOx au niveau du sol, émissions de NOx en altitude, émissions de vapeur d'eau, production de traînées de condensation et de cirrus, bruit).

D'importants programmes de recherche sur les moteurs qui sont en cours à l'échelle internationale ont pour objectifs de réduire les émissions de NOx des cycles d'atterrissage et décollage d'une valeur allant jusqu'à 70 pour cent par rapport aux normes réglementaires d'aujourd'hui, tout en améliorant de 8 à 10 pour cent la consommation de carburant des moteurs, par rapport aux moteurs les plus récemment en production. La réduction des émissions de NOx serait aussi réalisée aux altitudes de croisière, mais pas nécessairement dans la même proportion que dans le cas des atterrissages et décollages.

À supposer que les objectifs puissent être atteints, le transfert de cette technologie à des nombres appréciables d'aéronefs nouvellement produits demandera plus de temps, typiquement

une décennie. Sont aussi en cours des programmes de recherche sur les émissions de NOx des avions supersoniques.

IV.4.2.Options de carburants

Il ne paraît pas y avoir de moyens pratiques de remplacer les carburants à base de kérosène pour les avions commerciaux à réaction dans les prochaines décennies. Une réduction de la teneur en soufre du kérosène réduirait les émissions de SOx et la formation de particules de sulfate.

Les avions à réaction ont besoin d'un carburant à haute densité énergétique, particulièrement pour les vols long courriers. D'autres options de carburant, par exemple l'hydrogène, pourraient être viables sur le long terme mais nécessiteraient de nouvelles conceptions d'aéronefs et une nouvelle infrastructure d'avitaillement. Un carburant à hydrogène éliminerait les émissions de dioxyde de carbone des aéronefs mais augmenterait les émissions de vapeur d'eau. Les effets environnementaux globaux et la viabilité environnementale durable de la production et de l'utilisation d'hydrogène ou de tous autres carburants de remplacement n'ont pas été déterminés.

La formation de particules de sulfate venant des émissions d'aéronefs, qui dépend des caractéristiques des moteurs et des panaches, diminue à mesure que diminue la teneur en soufre du carburant. Il existe une technologie qui permet d'enlever pratiquement tout le soufre du carburant, mais cela aboutit à une réduction du pouvoir lubrifiant.

Des essais menés dans le domaine des biocarburants. SNECMA et GE ont déjà mené à bien deux programmes d'essais au sol et des essais en vol avec des CFM56 fonctionnant avec des biocarburants. Les biocarburants doivent satisfaire à des spécifications complexes (pouvoir calorifique, température, stabilité thermique, capacité de lubrification...) et répondre à des critères de compatibilité chimique avec les matériels existants. Pour être retenus à moyen/long terme, ces carburants devront justifier d'un bilan carbone positif, d'une offre suffisante et compétitive pour répondre aux besoins du trafic aérien et d'une distribution assurée au niveau mondial tout en proposant le même niveau de qualité que pour les carburants conventionnels.

IV.4.3.Options opérationnelles

Des améliorations dans la gestion du trafic aérien (ATM) et d'autres procédures opérationnelles pourraient réduire la consommation de carburant d'aviation de 8 à 18 pour cent. La plus grande partie (6 à 12 pour cent) des réductions viendrait d'améliorations dans l'ATM dont la mise en œuvre complète est attendue dans les 20 prochaines années. Toutes les émissions de moteurs seront réduites par voie de conséquence. La cadence d'introduction d'améliorations dans l'ATM dépendra de la mise en œuvre d'arrangements institutionnels essentiels à un niveau international.

Les systèmes de gestion du trafic aérien sont utilisés pour guider, séparer, coordonner et contrôler les mouvements aériens. Les actuels systèmes nationaux et internationaux de gestion du trafic aérien ont des limitations qui résultent, par exemple, de l'attente (aéronefs volant sur un circuit fixe en attendant l'autorisation d'atterrir), d'itinéraires inefficaces et de profils de vol non optimaux. Ces limitations aboutissent à des consommations additionnelles de carburant et par conséquent à des émissions additionnelles.

Pour l'actuelle flotte aérienne et l'activité aérienne d'aujourd'hui, une action sur les limitations mentionnées ci-dessus des systèmes de gestion du trafic aérien pourrait réduire le carburant consommé par voyage de quelque 6 à 12 pour cent. Il est à prévoir que les améliorations nécessaires pour réaliser ces réductions des consommations seront entièrement mises en œuvre d'ici 20 ans, à condition que les arrangements institutionnels et réglementaires nécessaires soient mis en place à temps.

D'autres mesures opérationnelles qui pourraient réduire la quantité de carburant consommée par passager-km comprennent l'augmentation des coefficients de remplissage (transporter davantage de passagers ou de fret sur un aéronef donné), l'élimination des masses non indispensables, l'optimisation des vitesses des aéronefs, la limitation de l'emploi d'énergie auxiliaire (par exemple chauffage, ventilation) et la réduction du roulement au sol. Les améliorations potentielles de ces mesures opérationnelles pourraient aboutir à une réduction du carburant consommé par voyage, et par conséquent des émissions, de quelque 2 à 6 pour cent. Il serait peut-être possible d'améliorer l'efficacité opérationnelle en attirant du trafic aérien additionnel, mais aucune étude visant à montrer l'existence de cet effet n'a été identifiée.

IV.4.4.Options réglementaires, économiques et autres

Des améliorations dans la technologie des aéronefs et des moteurs et dans l'efficacité du système de gestion du trafic aérien apporteront des avantages environnementaux, mais ceux-ci ne compenseront pas entièrement les effets de l'augmentation des émissions résultant de la croissance projetée de l'aviation.

Les options de politique pour réduire davantage les émissions comprennent des règlements plus rigoureux sur les émissions des moteurs d'aéronefs, l'élimination des subventions et incitatifs qui ont des conséquences négatives sur l'environnement, des options basées sur le marché telles que des paiements environnementaux (redevances et taxes) et des échanges de permis d'émissions, des accords volontaires, des programmes de recherche et le remplacement de services aériens par des liaisons ferroviaires et routières. La plupart de ces options augmenteraient les coûts et les tarifs des transporteurs aériens. Certaines de ces approches n'ont pas été entièrement investiguées ou testées dans l'aviation et leurs aboutissements sont incertains.

La certification des émissions de moteurs est un moyen de réduire des émissions spécifiques. Les autorités de l'aviation ont déjà recours à cette approche pour réglementer les émissions de monoxyde de carbone, d'hydrocarbures, de NOx et de fumée. L'Organisation de l'aviation civile internationale a commencé des travaux afin d'évaluer la nécessité de normes sur les émissions d'aéronefs aux altitudes de croisière pour compléter les actuelles normes applicables aux atterrissages et aux décollages pour les NOx et d'autres émissions.

Les paiements environnementaux (redevances et taxes) pourraient être un moyen de freiner l'augmentation des émissions d'aéronefs en stimulant le développement et l'utilisation d'aéronefs plus efficaces et en réduisant la demande de transport aérien. Des études montrent que pour être efficaces sur le plan de l'environnement, les paiements devraient être étudiés dans un cadre international.

Une autre approche qui pourrait être envisagée pour atténuer les émissions de l'aviation est l'échange de permis d'émissions, une approche basée sur le marché qui permet aux participants de coopérer pour minimiser les coûts de réduction des émissions. Cette approche n'a pas été testée dans l'aviation, bien qu'elle fût appliquée au dioxyde de soufre (SO₂) aux Etats-Unis d'Amérique et qu'elle soit applicable, en vertu du Protocole de Montréal, aux substances

qui appauvrissent la couche d'ozone. Cette approche est une des dispositions du Protocole de Kyoto, On explore aussi actuellement des accords volontaires comme moyen de réaliser des réductions dans les émissions provenant du secteur de l'aviation. On a eu recours à ce genre d'accord dans d'autres secteurs pour réduire les émissions de gaz à effet de serre ou pour améliorer des réceptacles.

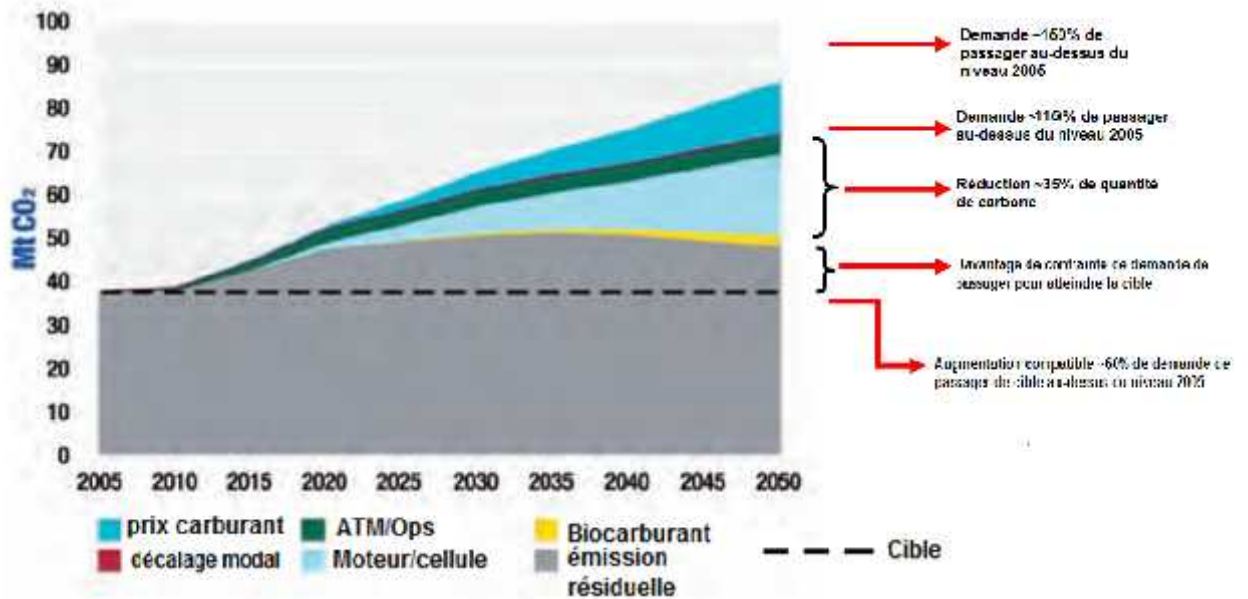


Figure (IV.25) : Options pour réduire les émissions jusqu'à 2050.

Conclusion

Conclusion générale



Conclusion générale

Les pays en développement doivent fournir des inventaires pour élaborer des dossiers lors des négociations internationales ou régionales, notamment dans le cadre du protocole de Kyoto sur le changement climatique. Devant l'absence de données, de modèle et même de connaissance sur le sujet, on a eu recours à l'exploitation des valeurs par défaut dont dispose chaque modèle, moyennant quelques données d'entrée relatives au nombre d'appareils et segmentation grossière de consommation.

L'extrapolation des méthodes dans des contextes différents, notamment celui des pays en développement, où les parcs, leur usage, voir même les conditions environnementales sont fort différentes, est sujette à caution, et demande au minimum d'être préalablement justifiée d'un point de vue scientifique. Il appartient donc de produire un minimum de données sur une base scientifique afin de développer un calcul d'inventaire rigoureux et scientifique acceptable.

Ce travail est effectué dans la perspective de développement d'une base de données du parc aérien algérien et des paramètres de son usage tel que les mouvements effectués, la consommation en carburant et les rejets selon les phases du cycle LTO. L'inventaire des émissions de polluants du transport aérien en Algérie est effectué pour la période entre 2009 et 2011 et ceci est dû au manque de données.

Ce travail a examiné aussi le progrès technologique, les améliorations de l'infrastructure et des mesures réglementaires ou basées sur le marché pour réduire les émissions de l'aviation. Il est nécessaire de poursuivre les travaux afin de pouvoir réduire les incertitudes scientifiques et autres, mieux comprendre les options de réduction des émissions et mieux informer les responsables de la politique, ainsi qu'améliorer la compréhension des aspects sociaux et économiques liés à la demande de transport aérien.

A partir des enquêtes effectuées, on a abouti à un parc navigant d'environ 74 appareils pour l'année 2011 dont 43% sont des appareils à turboréacteur. Le jet A1 étant le carburant utilisé pour notre parc aérien, on a enregistré une consommation de 15114510,24 (HI) soit 548471,7496 (t) durant la période allant de 2006 à 2010 et en nette progression en

raison de l'augmentation de l'activité aérien. La quantité de CO₂ rejetée varie selon la consommation en carburant et a atteint **2.4** millions de tonnes pour la période 2006-2011. La quantité des vapeurs d'eau qui variée aussi selon la consommation en carburant a atteint près de **1** million de tonnes.

La quantité de NO_x principale polluant LTO en aviation est estimé à **5179** tonnes soit **57%** par rapport au autre polluants du cycle LTO. Celle du CO est à **3428** tonnes soit **38%** et les UCH est de **464** tonnes soit **5%**.

Ces résultats par rapport à ceux des autre inventaire notamment l'inventaire du CDG montrent d'importantes divergences par rapport aux statistiques, aux types de polluants, aux types de mouvement ou encore à la méthodologie.

A terme de ce travail , on a relever des incertitudes, des imperfections et des lacunes quant à la technique et méthode d'inventaire, et au relèvement de consommation en carburant. Dans les travaux futurs, Il est prévu d'en tenir compte et de valoriser l'expérience acquise et d'améliorer les résultats déjà obtenus. Ceci permettra d'améliorer la compréhension des tendances et des comportements du parc aérien, de développer des inventaires régionaux et locaux : notamment pour les vols intérieurs et internationaux, pour chaque itinéraire à chaque phase de vol (croisière ou Cycle LTO) et selon le chargement en passager ou en bagage.

L'objectif ultime est de faire des techniques d'inventaire des émission un outil de gestion et de recherche en matière de protection de l'environnement et de maîtrise de l'énergie par les scientifiques et décideurs.



Bibliographie

1. OACI Environmental Report 2007.
2. OACI Environmental Report 2010.
3. Journal officiel de l'Union européenne 23.4.2009. DÉCISION DE LA COMMISSION du 16 avril 2009 modifiant la décision 2007/589/CE en vue d'ajouter des lignes directrices pour la surveillance et la déclaration des émissions et des données relatives aux tonnes-kilomètres liées aux activités aériennes.
(<http://www.MRV.pdf>)
4. Validation of ADAECAM (advanced Aircraft Emission Calculation Method) Report of fuel calculation.
(http://www.021+ ADAECAM+ Validation+ Report+070919_rit.pdf).
5. ICAO Aircraft Engine Emissions Databank
(<http://www.070716introduction.pdf>).
6. Thèse de Doctorat présentée à l'Université Paris XII - Val de Marne pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences .Spécialité : Sciences de l'Univers et de l'Environnement « La qualité de l'air en milieu aéroportuaire :étude sur l'aéroport Paris-Charles-De-Gaulle »
7. Annexe 16 à la Convention relative à l'aviation civile internationale « Protection de l'environnement » Volume II : Émissions des moteurs.
8. Modern Transport and Environment :ATR The Optimum Choice for a Friendly Environment.
(http://www. ATR_ TheOptimumChoice.pdf).
9. Rapport spécial du GIEC : L'aviation et l'atmosphère planétaire. GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT. Groupe d'experts d'évaluation scientifique du Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone.
(<http://av-fr.pdf>).



10. Aircraft Emission Charges Zurich Airport.
(http://www.Broschuere_Emission_Charges.pdf)

11. <http://www.airparif.asso.fr>

12. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/aviation/eco-calculateur/index.php>

13. Ministère de l'écologie du développement durable du transport et du logement. DGAC, Direction du transport aérien. Sous- direction des études des statistiques et de la prospective. « Les émissions gazeuses liées au trafic aérien en France 2009 »
(<http://www.developpement-durable.gouv.fr>)

14. ICAO Carbon Emissions Calculator .Version 3 .August 2010.
(<http://www.oaci.int>)

15. OACI .The Focus on Climate Change
(<http://www.oaci.int>)

16. Journal officiel de l'Union européenne. DIRECTIVE 2008/101/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 19 novembre 2008 modifiant la directive 2003/87/CE afin d'intégrer les activités aériennes dans le système communautaire d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre.

17. Communiqué de presse de l'OACI .La sécurité, la sûreté et l'environnement au cœur des délibérations de l'Assemblée.
(<http://www.oaci.int>)

18. Inventaire des émissions de gaz à effet de serre sur la ville de Bourges.
(<http://www.lig'air.fr>)

19. LA POLITIQUE ENVIRONNEMENTALE DE SNECMA
(<http://www.snecma.fr>).

20. « LES REDUCTIONS D'EMISSIONS PRESENTIES EN ILE-DE-FRANCE PERMETTRONT-ELLES, AUX HORIZONS 2005 ET 2010,LE RESPECT DES VALEURS DE REFERENCE DE QUALITE DE L' AIR POUR LE DIOXYDE D'AZOTE ? ». par :Airparif (Service Etudes).Robert Vautard (Laboratoire de Météorologie Dynamique).Matthias Beekmann (Service d'Aéronomie).Septembre 2000.Convention n° 99-237-001.
(<http://www.airparif.asso.fr>).



Annexe 1 :

La base de données certifiée des émissions moteurs de l'OACI pour la phase LTO.

| No | Engine Identification | Combustor Description | Eng Type | B/P Ratio | Press Ratio | Rated Output (kW) | UID No | UID No | EI HC | | | | |
|--------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------|-------------|-------------------|--------|--------|-------|------|------|-------|--|
| | | | | | | | | | T/O | C/O | App | Idle | |
| | | | | | | | | | | g/kg | | | |
| 3CM031 | CFM56-7B22 | | TF | 5,3 | 24,41 | 100,37 | 3CM031 | 3CM031 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 2,50 | |
| 3CM032 | CFM56-7B24 | | TF | 5,2 | 25,78 | 107,65 | 3CM032 | 3CM032 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 2,40 | |
| 3CM034 | CFM56-7B27 | | TF | 5,0 | 28,63 | 121,44 | 3CM034 | 3CM034 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 1,70 | |
| 8CM066 | CFM56-7B27/3 | Tech Insertion | TF | 5,1 | 29 | 121,4 | 8CM066 | 8CM066 | 0,03 | 0,02 | 0,05 | 1,54 | |
| 1GE026 | CF6-80C2B2F | | TF | 5,1 | 27,52 | 231,35 | 1GE026 | 1GE026 | 0,08 | 0,09 | 0,23 | 11,80 | |
| 2GE046 | CF6-80C2B2F | 1862M33 | TF | 5,1 | 27,6 | 231,35 | 2GE046 | 2GE046 | 0,05 | 0,05 | 0,12 | 1,86 | |
| 4GE080 | CF6-80E1A4 | Standard | TF | 5,1 | 34,5 | 297,44 | 4GE080 | 4GE080 | 0,06 | 0,07 | 0,18 | 10,35 | |
| 4GE081 | CF6-80E1A4 | Low emissions | TF | 5,1 | 34,5 | 297,44 | 4GE081 | 4GE081 | 0,04 | 0,04 | 0,09 | 0,92 | |

| Test | Eng | Dp/Foo HC | | | Characteristic | Characteristic % of Reg limit | LTO Total mass (g) | UID No | EI CO | | | | |
|------|-----|-----------|-------|--------------|----------------|-------------------------------|--------------------|--------|-------|------|------|-------|--|
| | | Ave | Sig | Range | | | | | T/O | C/O | App | Idle | |
| | | | | | | | | | | g/kg | | | |
| 3 | 1 | 4,22 | - | - | 6,4 | 32,7 | 432 | 3CM031 | 0,50 | 0,60 | 2,50 | 22,80 | |
| 3 | 1 | 3,91 | - | - | 6,0 | 30,6 | 432 | 3CM032 | 0,40 | 0,60 | 2,20 | 22,00 | |
| 3 | 1 | 2,76 | - | - | 4,3 | 21,9 | 335 | 3CM034 | 0,20 | 0,50 | 1,40 | 17,90 | |
| 7 | 3 | 2,25 | 0,35 | 1,88 to 2,56 | 2,62 | 13,4 | 273 | 8CM066 | 0,31 | 0,17 | 2,82 | 29,39 | |
| 3 | 2 | 14,99 | 1,24 | 13,36-16,37 | 19,5 | 99,5 | 3467 | 1GE026 | 0,52 | 0,52 | 2,93 | 49,75 | |
| 4 | 2 | 2,49 | 0,279 | 2,3-2,89 | 3,2 | 16,5 | 579 | 2GE046 | 0,04 | 0,06 | 2,64 | 21,56 | |
| 3 | 2 | 12,52 | - | - | 16,3 | 83,1 | 3726 | 4GE080 | 0,34 | 0,3 | 1,33 | 38,09 | |
| 7 | 3 | 1,20 | - | - | 1,4 | 7,1 | 359 | 4GE081 | 0,04 | 0,02 | 1,44 | 15,05 | |

| Test | Eng | Dp/Foo CO | | | Characteristic | Characteristic % of Reg limit | LTO Total mass (g) | UID No | EI NOx | | | | |
|------|-----|-----------|------|--------------|----------------|-------------------------------|--------------------|--------|--------|-------|-------|------|--|
| | | Ave | Sig | Range | | | | | T/O | C/O | App | Idle | |
| | | | | | | | | | | g/kg | | | |
| 3 | 1 | 39,58 | - | - | 48,6 | 41,2 | 4002 | 3CM031 | 23,10 | 19,00 | 10,00 | 4,50 | |
| 3 | 1 | 37,11 | - | - | 45,6 | 38,6 | 3998 | 3CM032 | 25,30 | 20,50 | 10,10 | 4,40 | |
| 3 | 1 | 28,30 | - | - | 34,7 | 29,4 | 3436 | 3CM034 | 30,90 | 23,70 | 11,00 | 4,80 | |
| 7 | 3 | 43,8 | 2,5 | 41,0 to 45,6 | 47,4 | 40,2 | 5320 | 8CM066 | 23,94 | 17,89 | 9,09 | 4,36 | |
| 3 | 2 | 64,51 | 2,89 | 62,01-67,13 | 73,5 | 62,3 | 14928 | 1GE026 | 23,56 | 18,32 | 8,54 | 3,64 | |
| 4 | 2 | 29,00 | 1,3 | 27,9-30,7 | 33,0 | 28,0 | 6717 | 2GE046 | 21,55 | 18,09 | 11,80 | 4,52 | |
| 3 | 2 | 46,58 | - | - | 53,1 | 45,0 | 13860 | 4GE080 | 43,15 | 30,3 | 10,13 | 4,62 | |
| 7 | 3 | 18,81 | - | - | 20,3 | 17,2 | 5598 | 4GE081 | 31,28 | 23,54 | 12,66 | 4,77 | |

| Test | Eng | Dp/Foo NOx | | | Characteristic | Characteristic as % standards | | | | NOx Total mass (g) | |
|------|-----|------------|------|--------------|----------------|-------------------------------|--------|--------|--------|--------------------|--------|
| | | Ave | Sig | Range | | Original | CAEP 2 | CAEP 4 | CAEP 6 | | CAEP 8 |
| | | | | | | | | | | g/kN | |
| 3 | 1 | 45,16 | - | - | 52,4 | 59,0 | 73,7 | 90,3 | 102,6 | 124,03 | 4560 |
| 3 | 1 | 47,83 | - | - | 55,4 | 60,5 | 75,6 | 92,0 | 104,5 | 125,40 | 5149 |
| 3 | 1 | 55,27 | - | - | 64,1 | 65,9 | 82,4 | 98,9 | 112,4 | 133,01 | 6719 |
| 7 | 3 | 43,09 | 1,1 | 42,4 to 44,4 | 45,6 | 46,5 | 58,2 | 69,7 | 79,2 | 93,61 | 5232 |
| 3 | 2 | 36,14 | 1,70 | 34,80-36,75 | 39,7 | 41,8 | 52,3 | 63,0 | 71,6 | 85,14 | 8361 |
| 4 | 2 | 39,73 | 0,24 | 39,5-40,1 | 43,7 | 45,9 | 57,4 | 69,2 | 78,6 | 93,49 | 3192 |
| 3 | 2 | 60,69 | - | - | 66,7 | 61,2 | 76,5 | 87,8 | 98,2 | 112,82 | 18055 |
| 7 | 3 | 50,52 | - | - | 53,5 | 49,1 | 61,4 | 70,4 | 78,7 | 90,49 | 15027 |

| UID No | Smoke Number | | | | Number | | Smoke Number | | | | Characteristic % of Reg limit | UID No |
|--------|--------------|------|-----|------|--------|-----|--------------|------|-------------|----------------|-------------------------------|--------|
| | T/O | C/O | App | Idle | Test | Eag | Max | Sig | Range | Characteristic | | |
| 0CM001 | 12,0 | 10,5 | 0,0 | 0,0 | 0 | 1 | 12,0 | - | - | 15,4 | 65,2 | 0CM001 |
| 3CM032 | 12,6 | 11,4 | 0,0 | 0,0 | 3 | 1 | 12,6 | - | - | 16,2 | 69,8 | 3CM032 |
| 3CM034 | 15,7 | 12,1 | 0,0 | 0,0 | 3 | 1 | 15,7 | - | - | 20,2 | 90,0 | 3CM034 |
| 8CM066 | 13,4 | 11,2 | 2,1 | 2,1 | 7 | 3 | 13,38 | 4,5 | 8,4 to 16,3 | 14,72 | 65,6 | 8CM066 |
| 1GE026 | 7,5 | 0,0 | 2,4 | 2,5 | 0 | 2 | 5,7 | 1,0 | 4,4-6,1 | 0,7 | 25,5 | 1GE026 |
| 2GE046 | 5,7 | 3,1 | 0,0 | 0,0 | 4 | 2 | 5,7 | 0,61 | 5,0-6,4 | 6,7 | 35,5 | 2GE046 |
| 4GE080 | 10,03 | 8,06 | 0 | 0 | 3 | 2 | 10,03 | - | - | 11,8 | 67,4 | 4GE080 |
| 4GE081 | 5,3 | 5,5 | 0 | 0 | 7 | 3 | 5,3 | - | - | 6,5 | 37,0 | 4GE081 |

| Spec | Fuel | | Fuel flow | | Fuel | | UID No | Loads | | | | |
|-------|-------------|-------------|-----------|----------|----------------|---------------------|--------|---------|------------------|---------|---|-----|
| | H/C Ratio | Arom % | T/O C/O | App Idle | LTO Cycle [kg] | Power Extraction kW | | @ Power | Stage Bleed % UT | @ Power | | |
| Jet A | 1.86-1.97 | 16.3-17.7 | 1,021 | 0,844 | 0,298 | 0,105 | 390 | 3CM031 | 0 | - | 0 | - |
| Jet A | 1.86-1.97 | 16.3-17.7 | 1,103 | 0,910 | 0,316 | 0,103 | 412 | 3CM032 | 0 | - | 0 | - |
| Jet A | 1.86-1.97 | 16.3-17.7 | 1,284 | 1,043 | 0,343 | 0,116 | 456 | 3CM034 | 0 | - | 0 | - |
| Jet A | 1.92 - 1.93 | 16.2 - 17.5 | 1,293 | 1,031 | 0,343 | 0,110 | 444 | 8CM066 | 0 | All | 0 | All |
| Jet A | 1,94 | 15,3 | 2,071 | 1,702 | 0,5585 | 0,1852 | 735 | 1GE026 | 0 | - | 0 | - |
| Jet A | 1,94 | 15,3 | 2,148 | 1,777 | 0,593 | 0,188 | 760 | 2GE046 | 0 | - | 0 | - |
| Jet A | 1,94 | 15,3 | 2,304 | 2,007 | 0,744 | 0,227 | 900 | 4GE000 | 0 | - | 0 | - |
| Jet A | 1,94 | 15,3 | 2,304 | 2,337 | 0,744 | 0,227 | 963 | 4GE001 | 0 | - | 0 | - |

| Ambicat | | | UID No | Manufacturer | Test Organisation |
|--------------|------------|--------------------|--------|---------------------|----------------------------|
| Daro kPa | Temp K | Humidity kg/kg | | | |
| 97.8-98.0 | 294-297 | .0100-.0157 | 3CM031 | GE | CFM56-7B Eval Engineering |
| 97.8-98.0 | 294-297 | .0100-.0157 | 3CM032 | GE | CFM56-7B Eval Engineering |
| 97.0-99.0 | 294-297 | .0100-.0157 | 3CM034 | GE | CFM56-7D Eval Engineering |
| 97.6 to 98.5 | 297 to 299 | 0.00750 to 0.00828 | 8CM066 | CFM International | GE Aviation |
| 97.40-97.82 | 287 - 296 | .0084-.0140 | 1GE026 | GE Aircraft Engines | CF6 Evaluation Engineering |
| 97.61-98.15 | 279-293 | .00457-.00743 | 2GE046 | GE | CF6 Eval Engineering |
| 97.61-98.15 | 279-293 | .00457-.00743 | 4GE080 | GE | CF6 Evaluation Engineering |
| 97.61-99.15 | 270-290 | .00457-.00740 | 4GE001 | GE | CF6 Evaluation Engineering |

| Manufacturer | Test Organisation | Test Location | Test Dates | | UID No |
|---------------------|----------------------------|------------------------------------|------------|------------|--------|
| | | | From | To | |
| GE | CFM56-7B Eval Engineering | Peebles Test Operation, Peebles, C | juil-96 | | 3CM031 |
| GE | CFM56-7B Eval Engineering | Peebles Test Operation, Peebles, C | juil-96 | | 3CM032 |
| GE | CFM56-7B Eval Engineering | Peebles Test Operation, Peebles, C | juil-96 | | 3CM034 |
| CFM International | GE Aviation | PTO, Ohio, USA | 23-sept-05 | 23-mars-06 | 8CM066 |
| GE Aircraft Engines | CF6 Evaluation Engineering | Site IIIC, PTO, Peebles, Ohio | 23-mai-85 | 03-juin-85 | 1GE026 |
| GE | CF6 Eval Engineering | Site IIIB, PTO Peebles | 13-janv-95 | 17-janv-95 | 2GE046 |
| GE | CF6 Evaluation Engineering | Site IIIB, PTO, Ohio | 13-janv-95 | 17-janv-95 | 4GE080 |
| GE | CF6 Evaluation Engineering | Site IIIB, PTO, Ohio | 13-janv-96 | 16-mars-96 | 4GE081 |

| Remarks |
|--|
| 1. FAA Certification Report CR-997, Dec 96. 2. Engine S/N 874-101/01 |
| 1. FAA Certification Report CR-997, Dec 96. 2. Engine S/N 874-101/01 |
| 1. FAA Certification Report CR-997, Dec 96. 2. Engine S/N 874-101/01 |
| 1. Ref. GE REPORT CR-2097/3 Rev1 2. Engine S/N 874-026/01, 778-024/01B, and 892-763/01 3. Data also apply to models CFM56-7B27/3, -7B27/3B1, -7B27/3B3, -7B27A/3, -7B27/3F, and -7B27/3I |
| 1. Ref GE Report R88AEB277. 2. Engine S/N's 630105 and 630005/2. |
| 1. Ref GE report TM95-17. 2. Engine S/N 704/233 & 704/234 3. 1862M39 combustor |
| 1. GE Report TM95-17. 2. Engine S/N 704/233 & 704/234 3. Standard combustor |
| 1. Ref GE Report TM95-17 & GEAE R95AEB272-2. 2. Engine S/N 704/233, 704/234 & 704/378 3. Low emissions combustor |

Annexe 2

Facteurs par groupe d'itinéraire

Des données de cette version sont basées sur le trafic pendant l'année civile 2008.

| Route Groups | | Pax Load Factors | | Pax to Freight Factors | |
|--------------|---|------------------|-------------|------------------------|-------------|
| | | Wide Body | Narrow Body | Wide Body | Narrow Body |
| 1 | Between North America and Central America/Caribbean (NC) | 77.74% | 77.09% | 93.35% | 99.06% |
| 2 | Between and within Central America and the Caribbean (LC) | 54.28% | 59.61% | 91.11% | 92.96% |
| 3 | Between Bermuda, Canada, Mexico and the United States (LNM) | 66.15% | 72.86% | 90.16% | 98.72% |
| 4 | Between North Am/Central Am/Caribbean & South America (NCS) | 78.62% | 72.48% | 80.88% | 96.09% |
| 5 | Local South America (LS) | 73.11% | 60.74% | 76.94% | 95.28% |
| 6 | Local Europe (LE) | 59.88% | 73.46% | 88.36% | 99.08% |
| 7 | Local Middle East (LM) | 49.20% | 70.30% | 83.98% | 97.85% |
| 8 | Local Africa (LA) | 40.08% | 63.71% | 85.93% | 96.14% |
| 9 | Between Europe and Middle East (EM) | 67.11% | 70.44% | 78.71% | 97.77% |
| 10 | Between Europe /Middle East and Africa | 71.33% | 66.25% | 81.14% | 97.78% |
| 11 | North Atlantic | 78.77% | 78.93% | 82.19% | 98.45% |
| 12 | Mid Atlantic | 82.16% | 82.16% | 86.57% | 86.57% |
| 13 | South Atlantic | 80.05% | 80.05% | 83.15% | 83.15% |
| 14 | Local Asia | 67.93% | 63.45% | 81.15% | 95.38% |
| 15 | Between Europe/Middle East/Africa and Asia | 73.68% | 54.29% | 79.58% | 96.97% |
| 16 | North & Mid Pacific | 78.62% | 78.62% | 84.02% | 84.02% |
| 17 | South Pacific | 78.72% | 60.42% | 84.83% | 94.43% |

