

UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG
Année 2024

THESE POUR LE DIPLOME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN MEDECINE

Conséquences médicales d'une exposition à un « *fume event* » : étude de cohorte rétrospective appariée pour 2577 personnels navigants exposés.

Présentée et soutenue publiquement le 27/09/2024
à 14h00 au pôle formation.

Par Léna DUBIEZ

JURY

Président :

Madame le Professeur Annie SOBASZEK

Asseseurs :

Madame le Docteur Caroline BEAUDELOT

Directeurs de thèse :

Monsieur le Docteur Michel KLERLEIN

Madame le Docteur Ariane LEROYER

Avertissement

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

Sigles

| | |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| APU | Groupe Auxiliaire de Puissance |
| ARS | Agence Régionale de Santé |
| CACE | <i>Cabin/cockpit Air Contamination Event</i> |
| CAQE | <i>Cabin Air Quality Event</i> |
| CC | Chef de cabine |
| CCO | Centre de Contrôle des Opérations |
| CCP | Chef de cabine principal |
| CDB | Commandant de bord |
| CHSCT | Comité d'hygiène, de sécurité, et de conditions de travail |
| CIM | Classification Internationale des Maladies |
| CO | Monoxyde de carbone |
| CO2 | Dioxyde de carbone |
| COV | Composés organiques volatils |
| DGAC | Direction Générale de l'Aviation Civile |
| DMST | Dossier Médical en Santé au Travail |
| EASA | <i>European Authority for Aviation Safety</i> |
| ECS | Système de contrôle environnemental |
| FAA | <i>Federal Aviation Administration</i> |
| FFO | Feu, Fumée, Odeur |
| IATA | Association de Transport Aérien International |
| ICD10 | <i>International Classification of Diseases, 10th revision (voir CIM10)</i> |
| IEI | Intolérance environnementale idiopathique |
| IQR | Ecart inter-quartile |

| | |
|--------------|----------------------------------------------------|
| IRSN | Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire |
| NTE | <i>Neuropathy Target Esterase</i> |
| OACI | Organisation de l'Aviation Civile Internationale |
| OMS | Organisation mondiale de la santé |
| OPIDN | <i>Organophosphate-Induced Delayed Neuropathy</i> |
| OPL | Officier pilote de ligne |
| ORL | Ortho-rhino-laryngé |
| PACK | <i>Pneumatic Air Conditioning Kit</i> |
| PNC | Personnel navigant commercial |
| PNT | Personnel navigant technique |
| SIOC | Syndrome d'intolérance aux odeurs chimiques |
| SIR | Suivi individuel renforcé |
| TCP | Tricrésyl phosphate |
| ToCP | Tri-ortho-crésyl-phosphate |
| US | <i>United States</i> |
| VLEP | Valeur limite d'exposition professionnelle |

Sommaire

| | |
|--------------------------------------------------|----|
| Avertissement..... | 2 |
| Sigles..... | 3 |
| Sommaire | 5 |
| Introduction..... | 7 |
| Contexte de l'étude..... | 9 |
| 1 Historique | 9 |
| 1.1 <i>Fume Event</i> | 9 |
| 1.2 Le « syndrome aérotoxique »..... | 12 |
| 2 Présentation de l'entreprise..... | 16 |
| 3 Le métier de personnel navigant..... | 18 |
| 3.1 Le poste..... | 18 |
| 3.2 La réglementation..... | 20 |
| 3.3 Expositions professionnelles | 21 |
| 4 Circuit d'air à bord des aéronefs | 23 |
| 5 Qualité de l'air dans les avions..... | 27 |
| 6 Objectif de l'étude..... | 30 |
| Sujets et méthodes..... | 31 |
| 1 Données | 31 |
| 2 Design de l'étude..... | 32 |
| 3 Analyse statistique | 34 |
| 4 Cadre réglementaire..... | 35 |
| Résultats..... | 37 |
| 1 La Population | 37 |
| 2 Description des résultats | 38 |
| Discussion | 43 |
| 1 Principaux résultats | 43 |
| 2 Limites, biais et points forts | 45 |
| 3 Significativité clinique et perspectives | 48 |
| Conclusion..... | 49 |
| Liste des tables..... | 50 |
| Liste des figures | 51 |
| Références | 52 |

Annexe 1 56
Annexe 2 57

Introduction

Depuis plusieurs années, des préoccupations sociétales en lien avec la qualité d'air des avions et un éventuel retentissement sur la santé, émergent.

Cette problématique, à caractère professionnel, serait en lien avec une exposition à des fumées et odeurs inhabituelles, dans les cabines et cockpits des avions, principalement constatée lors d'évènements aigus de fuite d'huile de moteur supposée, se mélangeant au circuit d'air, appelés communément « *fume event* » [1].

Ces manifestations seraient à l'origine de symptômes divers et variés, aigus ou à long terme, rapportés par le personnel navigant, et que certains auteurs résument, dans la littérature scientifique, depuis les années 2000, par le terme de « syndrome aérotoxique ». Ce dernier reste une entité débattue avec les autorités règlementaires qui considèrent que les effets au long terme sur la santé, sont une conséquence peu probable de l'exposition à l'air contaminé, car plusieurs études de surveillances de la qualité d'air font état de faibles concentrations de produits chimiques toxiques dans l'air de la cabine [2].

Cependant, un intérêt croissant sur la qualité d'air des aéronefs et ces phénomènes de contamination a pu être constaté ces dernières années, d'une part des navigants, et d'autre part des autorités de l'aviation civile.

A ce jour, aucune étude n'a pu démontrer avec certitude un lien de causalité entre la symptomatologie exprimée par le personnel navigant et ces évènements, appelés

également « Feu, Fumée, Odeur » (FFO), par une grande entreprise nationale française de transport aérien [1,3].

La recherche menée dans le cadre de cette thèse consiste en une vaste étude épidémiologique observationnelle analytique portant sur des données médicales liées à ces incidents FFO survenus entre 2017 et 2022. Ces données sont collectées à partir des dossiers médicaux en santé au travail (DMST) des employés de cette grande entreprise française de transport aérien, pour laquelle la problématique est une source de préoccupation.

Tout d'abord, nous présenterons le contexte scientifique et l'entreprise ayant rendu cette étude possible, ainsi que les salariés concernés. Ensuite, nous examinerons la qualité d'air à bord des aéronefs et son renouvellement, qui pourraient jouer un rôle dans les événements étudiés.

Puis, nous détaillerons la méthodologie statistique employée pour analyser les conséquences médicales d'une exposition à un « *fume event* », ainsi que les résultats de ce travail, qui pourront alors être discutés.

Contexte de l'étude

1 Historique

1.1 *Fume Event*

Les incidents d'air contaminé dans la cabine des avions, communément appelés « *fume event* », ont été décrits pour la première fois à bord des avions militaires, au cours des années 50 [4–6]. L'apparition des fumées a coïncidé avec l'introduction d'huiles synthétiques pour moteur à réaction, utilisées dans les moteurs à turbine à haute performance [7].

Durant cette période, suite à un nombre croissant de plaintes de la part du personnel navigant à bord du BAe 146-200, le toxicologue, Christiaan Van Netten, s'est intéressé à la qualité d'air des cabines, ainsi qu'au système de climatisation. L'hypothèse émise, et la plus fréquemment retrouvée dans la littérature scientifique, expliquant le phénomène de *fume event*, serait en lien avec une contamination du *bleed air* due à des fuites d'huiles de moteur, de fluides hydrauliques ou de fluides de dégivrage [8]. Le *bleed air* des avions correspond à de l'air prélevé des compresseurs des moteurs à réaction, utilisé pour alimenter divers systèmes de l'avion tels que la climatisation, la pressurisation de la cabine et le dégivrage, que nous détaillerons plus loin.

L'auteur s'est également intéressé aux produits résultant de la pyrolyse de ces huiles [9], il est mis en évidence :

- La libération de CO₂
- La libération de CO
- Un grand nombre de composés organiques volatils (COV)
- Des composés pyrolysés
- La présence de tricrésyl phosphate (TCP).

Un rapport émis par l'European Union Aviation Safety Agency (EASA) en 2017, dans le cadre du projet AVOIL concernant l'identification des composants d'huiles de moteurs, confirme ces observations [10].

Plusieurs termes sont utilisés pour décrire les phénomènes de contaminations d'air de la cabine des aéronefs :

- L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) définit dans sa circulaire 344-AN/202, *fume(s)* comme des composés gazeux odorants non visibles, et *smoke(s)* comme des produits de matières en combustion visibles par la présence de particules ;
- L'Association de Transport Aérien International (IATA) parle d'évènement en lien avec la qualité de l'air de la cabine (CAQE : *Cabin Air Quality Event*) pour décrire les phénomènes liés aux odeurs, aux fumées ou aux émanations pouvant se produire ;
- L'European Union Aviation Safety Agency (EASA) utilise plutôt le terme « évènement de contamination de l'air de cabine/cockpit » (CACE : *Cabin/cockpit Air Contamination Event*)
- La *Federal Aviation Administration* (FAA) parle de "Odors, Smoke and/or Fumes in flight" [11];

- En France, la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) parle de phénomènes se traduisant par des odeurs, des fumées ou des brumes contaminant la cabine des passagers ou le poste de pilotage, et pouvant être incommodantes voire incapacitantes [12]. Les termes « évènements Fumées et Odeurs » ou « évènements Feu, Fumée, Odeur » sont utilisés.
- Dans la littérature scientifique, le terme « *fume event* » désigne une intoxication de l'environnement de la cabine par contamination, via le *bleed air*, de composés issus des huiles de moteurs, liquide de dégivrage ou fluides hydrauliques, pyrolysés [13].

Une des hypothèses principales retenue serait l'implication des isomères du Tricrésyl Phosphate (TCP) dans la contamination des circuits d'air intérieur. En effet, comme cités précédemment, les organophosphorés sont des produits issus de la combustion des huiles moteur, fluides hydrauliques et liquides de dégivrage utilisés dans le domaine de l'aéronautique. Cependant les différents isomères impliqués restent discutables selon les auteurs [14–16]. L'isomère connu pour son pouvoir neurotoxique le plus élevé, le tri-ortho-crésyl-phosphate (ToCP), ne serait présent qu'à des quantités indétectables [10,17].

Le rapport de l'EASA, cité précédemment, estime qu'il y aurait environ 0,2 à 0,3 évènements de fumées pour 1000 heures de vol dans l'aviation commerciale européenne. Avec environ 37,8 millions de vols commerciaux annuels mondiaux en 2019, et en considérant une durée moyenne de vol d'environ deux heures, cela pourrait se traduire par plusieurs milliers de « *fume events* » par an dans le monde [10].

Concernant l'entreprise française d'étude, ces évènements sont approximativement au nombre de 550 par an, en dehors du contexte de la pandémie de la COVID-19 où l'activité de l'entreprise a été drastiquement diminuée plusieurs mois.

1.2 Le « syndrome aérotoxique »

Depuis une vingtaine d'années, des rapports décrivant des membres d'équipage présentant des symptômes de gravité variable, pouvant aller d'une simple gêne à des troubles neurologiques durables, ont été publiés [2,18–28].

Le terme de « syndrome aérotoxique » a été utilisé pour la première fois en 2000, par le Professeur de Toxicologie Christ WINDER, l'expert français Jean-Christophe BALOUET et le chirurgien de l'US Navy Harry HOFFMAN, pour décrire une exposition à des contaminants de l'alimentation en air [14]. Bien que ce terme ne soit pas largement accepté par la communauté médicale, l'industrie de l'aviation reconnaît que certaines personnes éprouvent des symptômes aigus à la suite d'un épisode de *fume event*. La persistance de symptômes au long terme, en lien avec cette exposition, reste cependant encore débattue [10,15–17,29,30].

Parmi les symptômes rapportés dans la littérature scientifique, y figurent :

- Des symptômes neurologiques : centraux (faiblesse musculaire, perte de connaissance, céphalées, troubles de l'équilibre, troubles visuels, confusion, somnolence, troubles cognitifs), et périphériques (tremblements, paresthésies des extrémités, hypersudation, bouffées vasomotrices) ;
- Des symptômes gastro-intestinaux : nausées, vomissements, diarrhées, douleurs abdominales ;

- Des symptômes respiratoires : toux, dyspnée, sensation d'oppression thoracique ;
- Des symptômes cardio-vasculaires : douleur thoracique, palpitations, variations de la fréquence cardiaque, hypertension artérielle ;
- Des symptômes ophtalmologiques et ORL : irritation oculaire, sensation de voix enrouée ;
- Des symptômes cutanés : brûlure du cuir chevelu, alopecie ;
- Des symptômes plus généraux : fatigue chronique, douleurs articulaires, courbatures, altération du système immunitaire à l'origine d'infections récurrentes [24].

Certains auteurs ont pu comparer le Syndrome Aérotoxique au Syndrome des Bâtiments Malsains [31]. Ce syndrome a été décrit pour la première fois en 1984 par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) qui introduit le terme pour désigner un ensemble de symptômes que les occupants de certains bâtiments modernes, pouvaient ressentir, sans cause médicale apparente. Des polluants tels que les composés organiques volatils, les moisissures et un système de ventilation inadéquat étaient souvent en cause. Les symptômes incluent des céphalées, une irritation oculaire, nasale, pharyngée, de la fatigue, des difficultés respiratoires. Cette reconnaissance a permis d'identifier et de traiter les facteurs environnementaux contribuant à ces symptômes.

D'autres auteurs font également un parallèle avec le scandale sanitaire qui a éclaté dans la région de Madrid au printemps 1981, lorsqu'une huile de colza frelatée

destinée à usage industriel, fut vendue comme huile alimentaire, provoquant une épidémie de syndrome toxique avec plus de 20000 cas de malades graves et 1100 décès [32].

Il est également possible de faire un parallèle avec le Syndrome d'intolérance aux odeurs chimiques (SIOC), qui s'inscrit dans un ensemble plus large désigné sous le nom d'intolérance environnementale idiopathique (IEI). Ce syndrome englobe une variété de symptômes subjectifs tels que des brûlures buccales, une dyspnée, une asthénie, ou encore des céphalées, qui apparaissent systématiquement lors de chaque exposition, même à des concentrations extrêmement faibles des substances concernées (parfums, peintures, solvants, fumées, pesticides...). Ces symptômes ne correspondent à aucune affection organique connue et les examens complémentaires effectués ne révèlent aucune anomalie [33].

La comparaison la plus fréquente dans la littérature scientifique reste celle faite avec les OPIDN (Organophosphate-Induced Delayed Neuropathy). Elle désigne la neuropathie retardée causée par l'exposition à certains organophosphorés, utilisés principalement comme insecticides. Cette affection neurologique survient généralement après une exposition aiguë et excessive à ces substances, et se manifeste après une période de latence de 1 à 4 semaines. Les organophosphorés responsables des OPIDN inhibent une enzyme appelée *neuropathy target esterase* (NTE), distincte de l'acétylcholinestérase, la cible habituelle des organophosphorés impliquée dans les intoxications aiguës. L'inhibition de la NTE provoque des lésions axonales progressives, principalement dans le système nerveux périphérique. Les symptômes typiques incluent une faiblesse musculaire, surtout des membres

inférieurs, pouvant évoluer vers une paralysie, ainsi que des douleurs neuropathiques, des engourdissements, et une ataxie qui perturbe la coordination et l'équilibre. Contrairement aux effets aigus des organophosphorés, qui incluent des manifestations cholinergiques comme le bronchospasme, la bradycardie, et la salivation excessive, les OPIDN se développent de façon insidieuse et ont des complications à long terme [34,35].

L'utilisation du terme « Syndrome Aérotoxique » est très critiquée par la communauté médicale. Les études sur le sujet sont souvent jugées de faible qualité méthodologique, en raison de l'absence d'une substance clairement identifiée comme cause, du manque de précision sur une physiopathologie pouvant expliquer les symptômes rapportés, de la taille réduite des échantillons ou l'absence de groupe contrôle, rendant difficile la comparaison des données expérimentales aux conditions réelles.

Concernant la compagnie aérienne française d'étude, face à l'inquiétude du personnel navigant, quant à la possible perte de leur aptitude médicale au travail, des associations de victimes ont été créées [36].

La problématique, abordée en CSE, a suscité une forte demande de la part des salariés pour obtenir des preuves d'une toxicité réelle liée à leur profession. A ce jour, très peu d'études sur les effets à long terme ont été menées, en raison de l'incertitude concernant la réalité d'un FFO rencontrés chez les navigants étudiés.

2 Présentation de l'entreprise

L'étude a été menée au sein de la compagnie aérienne nationale française, fondée en 1933. Son activité est répartie entre le transport aérien de passagers, le fret, la maintenance et l'entretien aéronautique.

La compagnie dessert plus de 300 destinations en Afrique, en Amérique du Nord, en Amérique du Sud, en Asie, en Europe, au Moyen-Orient et en Océanie, et transporte plus de 50 millions de passagers par an.

En plus du personnel au sol, elle regroupe environ 13000 personnels navigants commerciaux (PNC : hôtesse, steward, chef de cabine) et 4000 personnels navigants techniques (PNT : pilotes et officier pilote de ligne : OPL).

En 2024, la flotte de l'entreprise comprend environ 240 appareils, dont la répartition du personnel en vol varie selon la destination et le type d'appareil :

Airbus A220 (37) : 2 PNT et 4 PNC

Airbus A318 (8) et A319 (18) : 2 PNT et 4 PNC

Airbus A320 (37) : 2 PNT et 4-5 PNC

Airbus A321 (15) : 2 PNT et 5 PNC

Airbus A330 (15) : 2-3 PNT et 8 PNC

Airbus A350 (35) : 2-3 PNT et 6 PNC

Boeing B777 (64) et B787 (10) : 2-4 PNT et 10-13 PNC

On distingue également différents types de courrier selon la distance de croisière :

- court-courrier : vols nationaux métropolitains et intra-caraïbes

- moyen-courrier : vol Europe et vols à destination du Maghreb et d'Israël

- long-courrier : vols intercontinentaux, en dehors des vols à destination du Maghreb, de Beyrouth et du Caire.

3 Le métier de personnel navigant

3.1 Le poste

On distingue 2 grandes catégories de personnels navigants :

- Les **personnels navigants non professionnels**, dont l'activité se limite généralement au vol de loisir non soumis à rémunération, que nous ne détaillerons pas ici.
- Les **personnels navigants professionnels**, divisés en 4 catégories :
 - **Personnel Navigant Technique (PNT)** : comprenant les pilotes : commandant de bord (CDB), et copilotes : officier pilote de ligne (OPL).
D'après l'article L6524-1 du Code des Transports, « le personnel navigant technique est le personnel exerçant les fonctions suivantes :
 - 1 – *Commandement et conduite des aéronefs ;*
 - 2 – *Service à bord des moteurs, machines et instruments divers nécessaires à la navigation de l'aéronef ;*
 - 3 – *Service à bord des autres matériels montés sur aéronefs, notamment les appareils météorologiques ou destinés au travail agricole et les appareils destinés à la manœuvre des parachutes. » [37].*
 - **Personnel Navigant Commercial (PNC)** : membre d'équipage de cabine, plus communément appelé hôtesse de l'air et steward, comprenant également le chef de cabine (CC) et chef de cabine principal (CCP). Il assure deux missions principales : la sécurité et l'activité commerciale.

- **Personnel navigant d'essai et de réception (PN ER)**, à activité de recherche dans le but de contrôle de conformité des aéronefs, non détaillés ici.
- **Personnel navigants du travail aérien (PN TA)** : tout navigant utilisant un aéronef, dans une opération aérienne rémunérée, à d'autres fins que le transport de passagers, de poste ou de marchandise, ou d'essai et de réception, quelle que soit leur fonction à bord de l'aéronef, non détaillés ici [38].

Le Personnel Navigant Commercial (PNC), appelé plus couramment hôtesse de l'air ou steward, fait partie du personnel navigant professionnel de l'aviation civile. Il assure la sécurité et le confort des clients pendant un vol. Le rôle du PNC relève de 2 missions principales :

- Une mission de sécurité, de sûreté, et de secourisme, en veillant au respect des règles de sécurité en cabine et en appliquant les procédures associées en cas de nécessité. Il veille notamment, au bon fonctionnement des équipements de sécurité dans la cabine de l'aéronef avant le départ ; il présente aux passagers le matériel de sécurité qu'ils peuvent être amenés à utiliser (gilets de sauvetage, masque à oxygène, issues de secours...).
- Une mission commerciale, en étant attentif au confort des passagers en garantissant la qualité du service qui leur est rendu, mais aussi en réalisant des prestations de distribution des boissons et plateaux-repas, et de ventes de produits détaxés en vol [39].

3.2 La réglementation

D'après l'article L6521-1 du Code des Transports, « Est navigant professionnel de l'aéronautique civile toute personne qui remplit les 2 conditions suivantes :

1 – Exercer de façon habituelle et principale, pour son propre compte ou pour le compte d'autrui, dans un but lucratif ou contre rémunération, la fonction de personnel navigant

2 – Être titulaire d'un titre aéronautique en état de validité ou relever du règlement (UE) 2018/1139 du parlement européen et du Conseil du 4 juillet 2018 concernant des règles communes dans le domaine de l'aviation civile et instituant une Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne, et modifiant les règlements (CE) n°2111/2005, (CE) n°1008/2008, (UE) n°996/2010, (UE) n°376/2014 et les directives 2014/30/ UE et 2014/53/ UE du Parlement européen et du Conseil, et abrogeant les règlements (CE) n°552/2004 et (CE) n°216/2008 du Parlement européen et du Conseil ainsi que le règlement (CEE) n°3922/91 du Conseil ainsi que de ses règlements d'application. » [40].

Les personnels navigants relèvent du Règlement européen n°1178/2011 modifié de la Commission du 3 novembre 2011 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables au personnel navigant de l'aviation civile conformément au règlement (CE) n°216/2008 du parlement européen et du conseil (version consolidée au 31/01/2022 jusqu'au règlement (UE) 2021/2227 du 14/12/21) dit « *Aircrew* ». L'annexe IV « PART-MED » de ce règlement concerne l'aptitude médicale des personnels navigants. En effet, l'impératif de sécurité pour les passagers, les pilotes et l'ensemble des populations, impose aux pilotes de passer un examen médical spécifique afin d'éliminer tout problème d'ordre médical sur le plan

physique et mental qui pourrait entraîner une incapacité subite ou incompatible avec le vol. Cet examen médical se pratique dans des Centres Aéromédicaux ou chez des médecins aéromédicaux agréés par la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC). La liste des médecins et des centres aéromédicaux agréés où il est possible d'effectuer une visite médicale d'aptitude est disponible sur le site du Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. Cet examen médical permet de délivrer aux personnels navigants le Certificat Médical d'Aptitude au Vol, indispensable pour pouvoir exercer les privilèges d'une licence de pilotage. La périodicité du Certificat Médical d'Aptitude au Vol dépend de l'âge et du type de licence [3,41].

3.3 Expositions professionnelles

Les navigants représentent une profession aux expositions professionnelles multiples et variées. Parmi elles, on note :

- Les rayonnements ionisants, par le biais d'exposition aux rayonnements cosmiques ;
- Le travail en horaires irréguliers et travail de nuit, principalement pour le personnel travaillant sur long-courrier, pouvant être en lien direct avec une fatigue chronique et des troubles du sommeil ;
- Les agents biologiques, selon les destinations, potentiellement responsables de multiples infections ;
- Les variations de pression, avec risques de barotraumatisme et hypoxie ;
- Les nuisances sonores supérieures à 80dB, principalement liées aux bruits des moteurs en vol ;

- Les troubles musculosquelettiques, du fait du travail en environnement clos et exigü, avec circulation et manutentions contraignantes (port de valise, service des repas et collations), du piétinement durant le service et des déplacements à pieds parfois assez denses dans les aéroports ;
- Risques psycho-sociaux (service commercial d'une clientèle variable, retours frontières) [42] ;
- Risques géo-physiques et géo-politiques en raison de la répartition mondiale des escales desservies ;
- La faible hygrométrie de l'air respiré à bord.

En raison de leur exposition aux rayonnements ionisants, notamment ceux d'origine cosmique, les personnels navigants (PN) sont soumis à une surveillance individuelle renforcée (SIR) conformément à l'article R4624-22 du Code du travail. Cette surveillance est encadrée par le Décret n°2016-1908 du 27 décembre 2016, « relatif à la modernisation de la médecine du travail », sous-section 2 [43]. L'institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) assure le suivi de leur exposition, laquelle est maintenue en dessous de 6 mSv sur une période de 12 mois glissants, les classant ainsi dans la catégorie B.

4 Circuit d'air à bord des avions

L'air alimentant le cockpit et la cabine d'un avion pressurisé en vol, est traité par un système de contrôle environnemental (ECS). Ce système est conçu pour fournir un débit d'air adéquat afin de maintenir une pression partielle d'oxygène conforme aux besoins physiologiques de l'équipage et des passagers, tout en évitant l'accumulation excessive de dioxyde de carbone (CO₂) dans la cabine. Les exigences de conception de l'ECS sont définies par les autorités réglementaires [44].

On distingue deux types d'ECS dans les avions commerciaux de passagers :

- ECS avec *bleed air* : le plus couramment rencontré (Figure 1) ;
- ECS sans *bleed air* : appelé également ECS électrique (Figure 3).

Tous les avions à réaction modernes de transports commerciaux, à l'exception du Boeing 787 [45], utilisent l'air de prélèvement issu des moteurs (*bleed air*), au niveau de la chambre de compression, en amont de la chambre de combustion ; ou bien l'air prélevé du groupe auxiliaire de puissance (APU) (Figure 1 et 2).

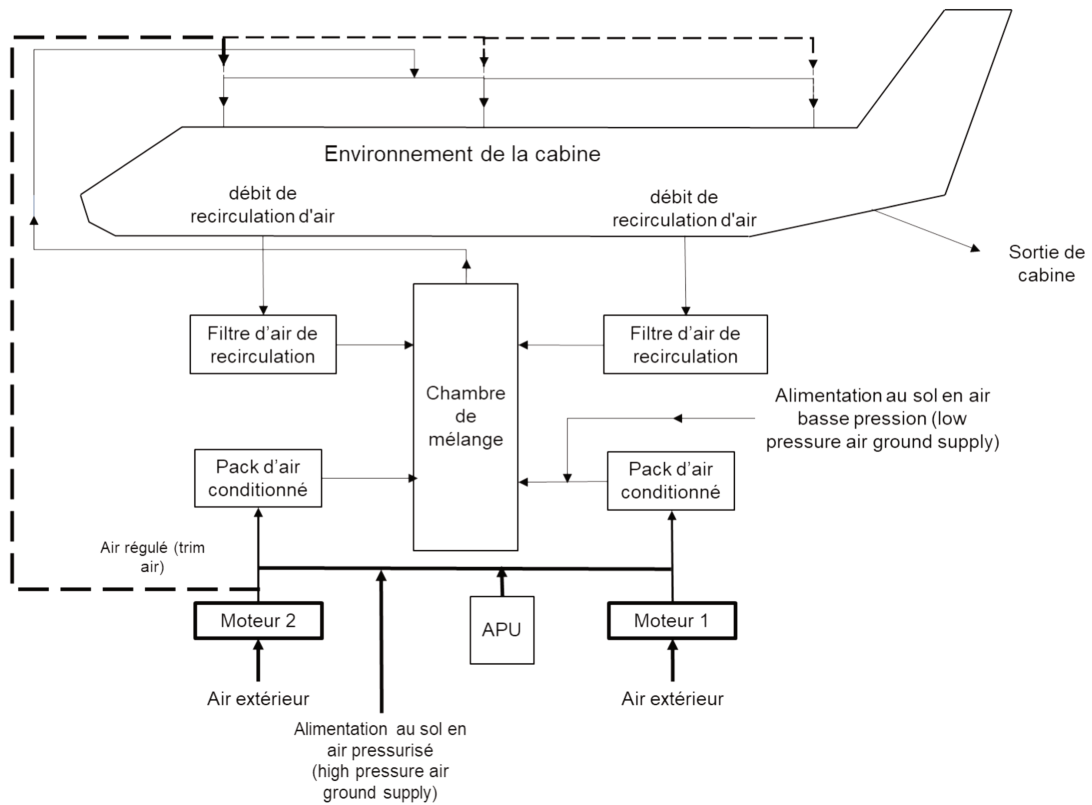


Figure 1 : ECS avec bleed air (d'après [44])

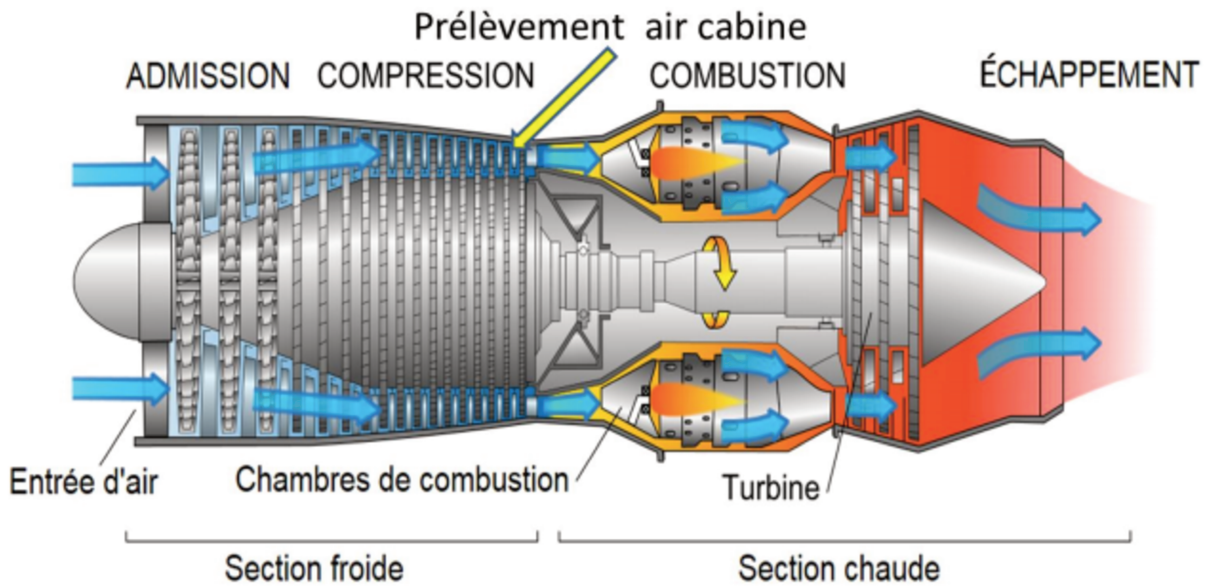


Figure 2 : Coupe d'un réacteur (d'après [46])

Dans le cas de l'**ECS avec bleed air**, l'air de prélèvement est acheminé vers le groupe de conditionnement d'air (PACK : *Pneumatic Air Conditioning Kit*), et est généralement à pression et température élevées. L'objectif du PACK est d'amener l'air purifié à une température et une pression appropriées pour maintenir les conditions souhaitées dans la cabine.

Cet air conditionné (50-60%) est ensuite mélangé à l'air de recirculation de la cabine (40-50%), avant d'être envoyé dans l'habitacle. Le but étant d'assurer une distribution uniforme de la température, un mélange approprié du CO₂, et des niveaux d'hygrométrie souhaités. La pression de la cabine est principalement contrôlée par la modulation de plusieurs vannes d'évacuation placées sous le fuselage de l'avion.

L'air intérieur pressurisé est donc une combinaison du mélange d'air extérieur passant par le circuit des moteurs et d'air intérieur recyclé [44] (Figure 1).

L'APU est un turboréacteur embarqué, situé à l'arrière du fuselage, permettant une autonomie à l'appareil lorsqu'il est au sol [47]. En effet, l'APU est une source alternative d'alimentation électrique et du *bleed air*. Il fonctionne par combustion de kérosène, qui permet le démarrage du starter, permettant lui-même de démarrer les moteurs. Contrairement à l'ECS, il ne sert pas à propulser l'avion. Il consomme moins de carburant que les moteurs et est principalement destiné à une utilisation au sol, ou en vol comme source d'énergie électrique en cas de nécessité [48].

Dans le cas d'un **ECS sans bleed air**, l'air extérieur est prélevé directement à l'extérieur de l'avion via une entrée dédiée et un compresseur électrique (Figure 2).

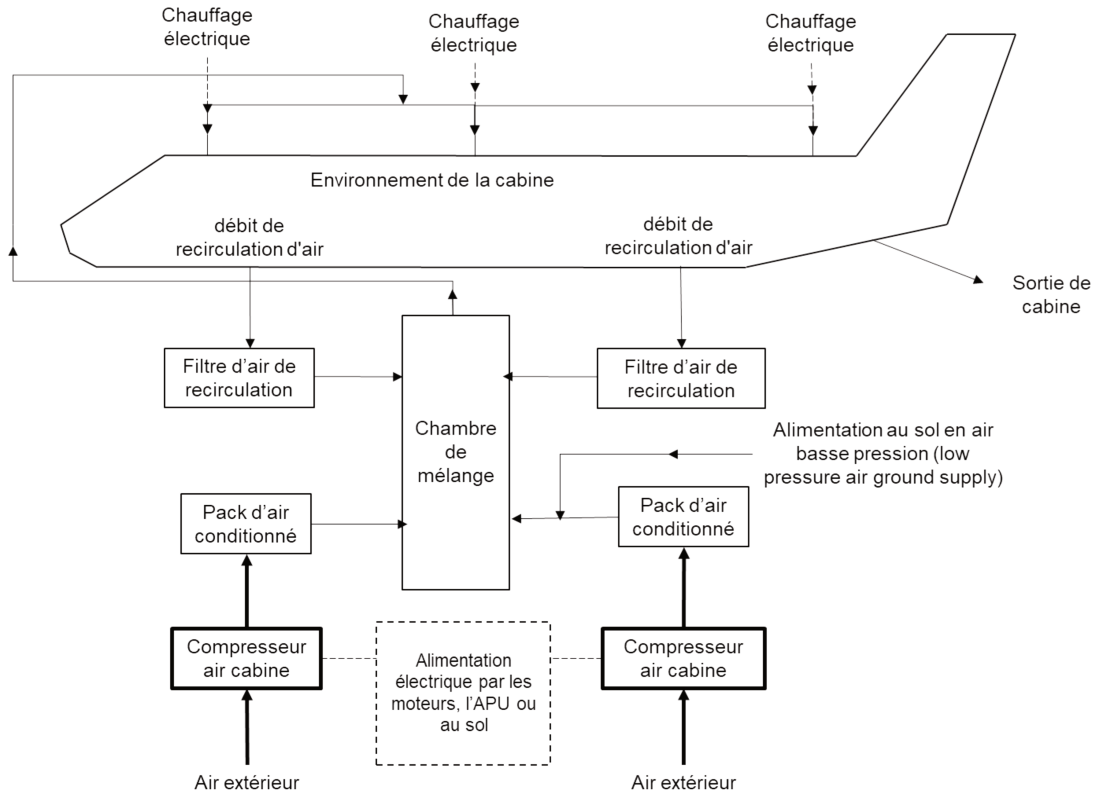


Figure 3 : ECS sans bleed air (d'après [44])

5 Qualité de l'air dans les avions

La qualité d'air à bord des aéronefs est une problématique rapportée en CSE, par les délégués du personnel, en lien avec une éventuelle exposition à des émanations de substances probablement neurotoxiques. Le sujet a également été médiatisé sur une chaîne de télévision française, et la demande d'investigation est croissante de la part du personnel navigant, ces dernières années.

En France, il n'existe pas de directive particulière concernant la qualité d'air à bord des avions. Il en est de même concernant des valeurs limite d'exposition en lien avec l'air des cabines, et pouvant avoir un impact sur la santé et la sécurité du personnel navigant et des passagers. Selon l'article L6521-6 du code des transports, « le code du travail est applicable au personnel navigant de l'aéronautique civile et à leurs employeurs, sous réserve des dispositions particulières fixées par le présent titre » [49]. A noter que les dispositions particulières ne concernent que les conditions d'exercice (âge limite, contrat de travail, durée de travail, congés, protection sociale et retraite) [3]. Le Code du travail s'applique donc en terme de prévention du risque chimique, et plus particulièrement des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) (Articles R44412-1 à R4412-160) [50].

Il est important de noter qu'il n'existe pas de monitoring de la qualité de l'air à bord des avions durant les vols.

Dans ce contexte, en 2017, il a été réalisé par l'European Union Aviation Safety Agency (EASA), et revu en 2022 par le Comité Européen de Normalisation (CEN), un rapport regroupant les sources potentielles de contamination de l'air des cabines.

On distingue différentes sources de contamination, par différents procédés :

- Sources externes à l'avion :
 - Fluides hydrauliques : par rupture de conduite d'alimentation, remplissage excessif du réservoir ;
 - Liquide de dégivrage : par fuite (propylène glycol) [51] ;
 - Huiles moteurs : joints défectueux dans le moteur ou l'APU, remplissage excessif du réservoir, conduits et composants de l'ECS souillés [52] ;
 - Gaz : monoxyde de carbone (CO) ;
 - Trafic aérien et automobile à l'aéroport : pollution atmosphérique, gaz d'échappement (CO₂, NO, carburant, particules), aldéhydes, toluène, xylène.

- Sources internes à l'avion :
 - Passagers : CO₂, Composés Organiques Volatils (COV) en provenance des vêtements, de la peau ou des repas [53] ;
 - Ameublement : retardateurs de flamme et plastifiants comprenant des phtalates et organophosphorés [54] ;
 - Entretien et nettoyage de la cabine : COV, alcools, arômes ;
 - Biocides et insecticides : selon les destinations [55,56] ;
 - Fumées de combustion d'un composant de la cabine.

Certaines études de surveillance de la qualité d'air à bord des aéronefs ont été menées en dehors d'évènement aigu rapporté par le personnel navigant. Il en résulte la présence de faibles concentrations de contaminants individuels de l'air de prélèvement, inférieures aux valeurs limites d'exposition professionnelle [10,17,44,57–59].

D'après la littérature scientifique et la littérature grise, l'hypothèse de contamination de l'air de la cabine la plus fréquemment étudiée est celle de la contamination du *bleed air* par les huiles moteurs, les fluides hydrauliques, ou des produits dérivés obtenus après pyrolyse de ceux-ci, lors des *fume events*. Une attention particulière a donc été portée sur les organophosphates présents dans les huiles de moteur en tant qu'additif.

A ce jour, seules 3 études ont été menées, réalisant des mesures lors de *fume events* et rapportant la présence de polluants [8,58,60,61]. Il est à noter que les concentrations en composés organiques volatils n'étaient pas plus élevées lors de vols avec *fume events* comparativement aux vols sans évènement rapportés. De plus, les résultats ne permettent pas de conclure formellement, du fait d'un échantillon de vols étudiés trop faible [61], ou bien des périodes de mesures trop courtes [58,60]. Les conditions d'expérimentation ne sont pas superposables aux conditions réelles.

L'EASA a également publié un rapport concernant la toxicité des huiles de moteurs après pyrolyse. L'étude a été réalisée sur modèle in vitro de barrière pulmonaire. Il en résulte qu'une exposition aiguë de 30 min est insuffisante pour altérer la fonction neuronale. Il a bien été mis en évidence une toxicité des composants après pyrolyse, mais en présence d'une barrière pulmonaire intacte, la quantité de composés neurotoxiques seraient trop faible pour altérer la fonction neuronale [62].

6 Objectif de l'étude

A travers ce travail, nous introduisons une nouvelle approche en menant une vaste étude de cohorte rétrospective. Notre objectif est d'examiner l'impact sur la santé des expositions aux événements de fumées auxquelles sont soumis les personnels navigants au sein d'une compagnie aérienne nationale française. En analysant les données sur une large échelle, nous espérons identifier et quantifier les effets potentiels de ces expositions sur la santé des employés concernés, et de tenter d'apporter des réponses à la question de l'existence d'un lien de causalité.

Cette recherche vise à apporter des éclaircissements sur les risques spécifiques associés à ce métier et permettre de proposer des recommandations pour améliorer les conditions de travail et la sécurité sanitaire du personnel navigant, et indirectement des passagers.

Sujets et méthodes

1 Données

L'étude a été réalisée grâce au service de médecine du travail de l'entreprise étudiée, composé de 8 médecins et 20 infirmières en santé au travail. Les données médicales des navigants sont répertoriées sur la base de données informatique uEgar. Il y figure les différentes visites réalisées, les arrêts maladies, accidents de travail, ainsi que les maladies professionnelles déclarées par les salariés.

Les symptômes et pathologies enregistrés sont codés par les médecins du service selon la classification CIM-10 [63]. L'accès est strictement réservé au personnel de santé du service médical de l'entreprise et est légalement protégé par la réglementation française.

Le personnel navigant dispose du statut de salarié au suivi individuel renforcé du fait de son exposition professionnelle aux radiations ionisantes lors de son activité en vol. Les personnels navigants sont donc soumis à un suivi médical minimal tous les 2 ans au sein du service [43].

Depuis 2017, tout évènement FFO survenant à bord des aéronefs, constaté par le personnel navigant, fait l'objet d'une déclaration sur tablette de type iPad par un PNT (*Pilot Report*) ou un CC/CCP (*Cabin Safety Report*), dans laquelle figure l'incident survenu. Ce rapport est envoyé à un service de l'entreprise dédié au traitement de ces informations, le CCO (Centre de Contrôle des Opérations). Il est accompagné d'une déclaration manuscrite du Commandant de Bord, destiné au service de maintenance technique de l'entreprise.

Dans les suites, chaque membre d'équipage reçoit, par voie numérique, un auto-questionnaire (Annexe 2) à remplir adressé par le service de prévention et de santé au travail, concernant l'évènement. Les informations sont répertoriées dans la base de données numérique du service médical, à des fins d'analyse.

2 Design de l'étude

Le travail consistait en une étude de cohorte rétrospective, impliquant 20906 salariés issus de la compagnie aérienne nationale française et suivis au service médical de Roissy Charles de Gaulle entre 2017 et 2022.

Cette cohorte comportait 2 groupes : un groupe « exposé » et un groupe « non exposé », apparié au premier groupe. Le groupe « exposé » regroupait tous les membres d'équipage suivis au service médical de santé au travail de Roissy CDG, ayant vécu au moins un évènement FFO entre 2017 et 2022.

Pour chaque salarié « exposé », il a été apparié au moins un navigant « non exposé », selon les 6 critères d'appariement suivants : le sexe ; l'âge (+/-5 ans) ; la fonction (membre d'équipage cabine ou au cockpit) ; le type de vol (court/moyen ou long-courrier) ; nombre d'heures de vol dans la carrière (en 4 classes, 0-999h ; 1000-1999h ; 2000-2999h ; 3000-3999 heures de vols) et le nombre de vols dans la carrière (en 7 classes, 1-29 ; 30-59 ; 60-69 ; 70-79 ; 80-99 ; 100-199 ; 200-488 vols).

Cet appariement strict a été réalisé grâce au *package imatch for matching in Stata* [64].

Il a ensuite été extrait l'ensemble des symptômes et pathologies codées par la CIM-10, du groupe « exposé » comme du groupe « non exposé », dont la déclaration était postérieure à l'évènement FFO chez le salarié exposé, entre 2017 et 2022.

Un indice arbitraire de plausibilité biologique concernant le lien entre les symptômes constatés, et l'évènement de fumée vécu, a ensuite été attribué : 0 = impossible ; 1 = possible ; 2 = décrit dans la littérature. Les évènements de plausibilité 1 et 2 ont ensuite été recodés en 5 groupes pour correspondre à la classification des symptômes attribués aux évènements de fumée dans la littérature [1] (Tableau 1).

| Groupe | Symptômes ou pathologies les plus fréquents (CIM-10) |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Neurologie | Troubles du sommeil (G47) - Migraine (G43) - Trouble de la fonction vestibulaire (H81) - Névrite (G56) - Troubles cognitifs (R41) ... |
| Irritation/Respiratoire | Rhinopharyngite (J00) - Sinusite (J01-J32) - Toux (R05) - Bronchite (J20) - Asthme (J45) - Pharyngite (R02) - Amygdalite (J03) - Mal de gorge (R07) - Conjonctivite (H10) - Laryngite/Trachéite (J04) |
| Psychiatrie | Anxiété (F40/F41) - Épisode dépressif (F32) - Stress (F43) |
| Fonctionnel | Malaise et fatigue (R43) - Douleurs abdominales et pelviennes (R10) - Nausées (R11) - Autres affections non spécifiées des tissus mous, non classées ailleurs (M79) |
| Végétatif | Anomalies du rythme cardiaque (R00) - Troubles somatoformes (F45) - Gastro-entérites et colite non infectieuses (K52) |

Tableau 1. Groupe de symptômes et pathologies, avec leur code CIM-10, possiblement liés à des évènements de fumée ou décrits comme tels dans la littérature

3 Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel Stata SE 16.1, StataCorp, college Station, Texas, États-Unis.

Pour rappel, l'appariement strict a été réalisé grâce au *package imatch for matching in Stata* [64].

L'ensemble des données a été analysé soit avec les données complètes (14953 membres d'équipage dont 2577 exposés et 12376 non exposés) jusqu'à 7 appariés non exposés pour chaque exposé ; soit avec les données appariées 1:1 (5154 membres d'équipage dont 2577 exposés et 2577 non exposés).

Il a été réalisé :

- Une comparaison de prévalence (sur l'ensemble des données) à l'aide d'un test de comparaison de proportions qui utilise le test de l'écart centré réduit classiquement dénommé score z (ou z-score) dont la distribution suit la loi normale centrée réduite $N(0,1)$ permettant de disposer de la probabilité de l'erreur de type 1 ;
- Une comparaison d'incidence (sous-ensemble de données appariées 1:1), avec estimation d'un rapport de risque et test de comparaison (sur l'ensemble des données), ont été réalisés via l'utilisation du modèle à risque proportionnels de Cox : modèle brut puis ajusté sur l'âge, le sexe, la fonction, le type de vol, le nombre d'heures de vol dans la carrière, le nombre de vols dans la carrière.

4 Cadre réglementaire

Lors de leur visite médicale d'embauche, les salariés sont informés que leurs données médicales pourraient être utilisées à des fins de recherche. Cette information leur est communiquée dans le cadre d'une politique de confidentialité stricte, garantissant que toute utilisation des données respecte les normes légales et éthiques. Afin d'assurer leur accord éclairé, les employés doivent signer un consentement explicite. Ce document atteste leur compréhension et acceptation de l'utilisation potentielle de leurs

données médicales pour des études scientifiques. Une fois signé, le consentement est enregistré dans leur Dossier Médical en Santé au Travail (DMST).

Par ailleurs, l'étude a fait l'objet de l'avis favorable du Comité Local d'Ethique pour les Publications de l'hôpital Cochin (Décision CLEP N° : AAA-2024-10005) (Annexe 1).

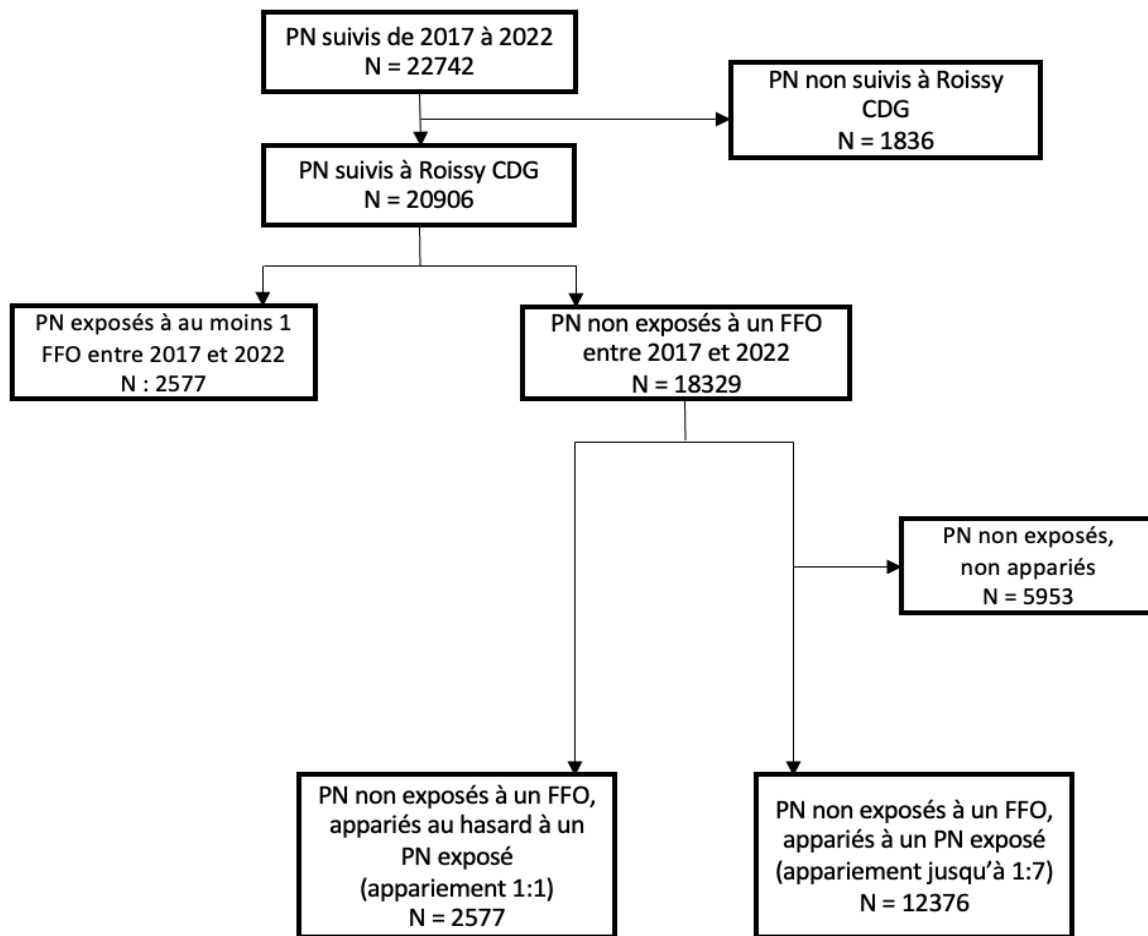
Résultats

1 La Population

Afin de constituer la cohorte, tous les membres d'équipage suivis par le service médical de Roissy CDG entre 2017 et 2022 ont été sélectionnés, soit 20906 salariés sur les 22742 navigants totaux de l'entreprise (les 1836 navigants écartés étaient suivis dans un autre service médical).

Grâce à l'alimentation de la base de données par les différents médecins et infirmiers du service, il a été ajouté, au dossier médical de chaque membre d'équipage concerné, chaque événement FFO vécu détaillé (date, anamnèse, type d'avion et type de vol concernés) entre 2017 et 2022. 2577 salariés ont été impliqués durant ces 6 années, représentant alors le groupe « exposé ».

Il a été réalisé 2 tirages au sort distincts avec appariement, à partir des 18329 salariés non exposés. Un 1^{er} tirage au sort cherchant à appairer 1 non exposé pour un exposé a été effectué. Un 2^d tirage au sort cherchant à appairer un maximum de non exposés à 1 exposé a pu être mené. Ce dernier a permis d'appairer jusqu'à 7 non-exposés à 1 exposé (1 :1 à 1 :7), aboutissant au total à 12376 non exposés (voir flowchart en Figure 4).



CDG : Charles de Gaule; FFO : feu, fumée, odeur; PN : personnels navigants

Figure 4 : Construction de la cohorte

2 Description des résultats

Grâce au processus d'appariement, il existe peu de différences démographiques ou sur les autres critères concernant les caractéristiques des groupes « exposé » et « non exposé », et quasiment aucune différence statistique pour le sous-ensemble apparié 1:1. Pour l'ensemble de la cohorte, des différences entre les critères d'appariement se sont produites et ont été contrôlées par l'approche multivariée du modèle de risques proportionnels de Cox (Tableaux 2 et 3).

Tableau 2. Statistiques descriptives du sous-ensemble de correspondance 1:1

| Caractéristiques | Exposés (N = 2577) | Non Exposés (n = 2577) |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Sexe féminin – n (%) | 1319 (51,2%) | 1319 (51,2%) |
| Âge (en années) – moyenne (écart-type) | 48,7 (7,6) | 48,8 (7,7) |
| Fonction pilote (vs cabine) – n (%) | 1892 (73,4%) | 1892 (73,4%) |
| Type de vol : long-courrier (vs court/moyen-courrier) – n (%) | 1861 (72,2%) | 1861 (72,2%) |
| Nombre de vols dans la carrière – moyenne (écart-type) | 157,4 (121,8) | 155,5 (119,6) |
| Nombre d'heures de vol dans la carrière – moyenne (écart-type) | 2489,6 (746,7) | 2471,5 (783,9) |

Tableau 3. Statistiques descriptives de l'ensemble de la cohorte

| Caractéristiques | Exposés (N = 2577) | Non exposés (N = 12376) |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Sexe féminin – n (%) | 1319 (51,2%) | 6419 (51,9%) |
| Âge (en années) – moyenne (écart-type) | 48,7 (7,6) | 48,7 (8) |
| Fonction pilote (vs cabine) – n (%) | 685 (26,6%) | 2896 (23,4%) |
| Type de vol : long-courrier (vs court/moyen - courrier) – n (%) | 1861 (72,2%) | 10116 (81,7%) |
| Nombre de vols dans la carrière – moyenne (écart-type) | 157,4 (121,8) | 125,0 (104,2) |
| Nombre d'heures de vol dans la carrière – moyenne (écart-type) | 2489,6 (746,7) | 2481,6 (795,3) |

Tests Comparatifs :

Prévalence pour chaque groupe de pathologie :

Les prévalences estimées pour chaque groupe de pathologies sont inférieures à 5,1%, dans le groupe « exposé » ainsi que dans le groupe « non exposé », et témoignent d'une faible fréquence de survenue de pathologies, aussi bien après exposition à un évènement FFO, que sans.

Environ 85% des membres d'équipage, dans chaque groupe, n'ont exprimé aucune des pathologies d'intérêt.

Après réalisation des tests comparatifs, aucune différence n'a été observée entre le groupe « exposé » et le groupe « non exposé », le test de comparaison de proportion score z, n'étant pas significatif dans chaque groupe de pathologies (Tableau 4).

Tableau 4 : Prévalence des groupes de maladies exprimés en pourcentage (IC à 95%)

| Groupe de maladies | Exposés N = 2577 | Témoins N = 12376 | Valeur de Z (valeur p) |
|----------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Aucune pathologie enregistrée - % [IC à 95%] | 84,6% [83,2-85,9] | 85,2% [84,5-85,8] | -0,75 (0,44) |
| Neurologie - % [IC à 95%] | 2,9% [2,4-3,7] | 2,9% [2,7-3,2] | 0,03 (0,97) |
| Irritation/Respiratoire - % [IC à 95%] | 5,1% [4,3-6,0] | 4,5% [4,2-4,9] | 1,15 (0,25) |
| Psychiatrique - % [IC à 95%] | 2,5% [2,0-3,2] | 2,4% [2,2-2,8] | 0,29 (0,76) |
| Fonctionnel - % [IC à 95%] | 2,8% [2,3-3,5] | 3,2% [2,9-3,5] | -0,92 (0,35) |
| Végétatif - % [IC à 95%] | 1,8% [1,4-2,4] | 1,5% [1,4-1,8] | 1,10 (0,26) |

Comparaison d'incidence pour l'ensemble de la cohorte :

L'incidence des pathologies codées par la CIM-10 potentiellement associées à un évènement de fumée, a été estimée après détermination du nombre de personne-année post exposition pour chaque groupe.

La durée de suivi médiane était de 3,91 ans (IQR : 1,29-5,23).

Un taux d'incidence d'au moins une pathologie a été estimé à 1552,4 pour 100000 personne-année dans le groupe « exposé » avec un IC à 95% de [1315,4-1832,1],

alors que le taux d'incidence du groupe « non exposé » était de 1497,7 pour 100000 personne-année, avec un IC à 95% de [1385-1618,9].

La comparaison des taux d'incidence a été réalisée à l'aide du modèle à risque proportionnel de Cox. Le modèle brut, sans covariable, a retrouvé un rapport de risque de 1,04, avec un IC à 95% de [0,86-1,25] et n'était pas statistiquement significatif (valeur p = 0,66) (Tableau 5). Le modèle ajusté a montré un taux similaire de 1,03, avec un IC à 95% [0,85-1,24].

Quatre covariables avaient une association significative (la fonction, l'âge, le nombre de vols, et le nombre d'heures cumulées durant la carrière), avec des valeurs p < 0,05. En revanche, pour le sexe et le type de vol, les résultats obtenus n'étaient pas significatifs.

Tableau 5. Modèle multivarié des risques proportionnels de Cox pour l'estimation du rapport de risque lié de manière plausible à une pathologie codée par la CIM-10 et à une exposition à un événement de fumée dans le dossier médical

| | Hazard Ratios | Intervalle de confiance à 95% - [IC] | Valeur Z (valeur p) |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| Expositions à des fumées | 1,03 | (0,85-1,24) | 0,34 (0,734) |
| Personnel de cabine/Cockpit | 0,43 | (0,33-0,44) | - 6,52 (0,000) |
| Sexe (Homme/Femme) | 0,88 | (0,74-1,04) | - 1,44 (0,149) |
| Âge | 0,91 | (0,85-0,97) | -2,57 (0,01) |
| Nombre de vols | 1,06 | (1,01-1,12) | 2,37 (0,018) |
| Heures cumulées de vol | 0,76 | (0,68-0,84) | - 5,07 (0,000) |
| Court et moyen-courrier/Long-courrier | 0,95 | (0,75-1,22) | - 0,33 (0,739) |

Le rapport de risque de développer une pathologie potentiellement en lien avec l'exposition citée, a été réalisé entre les groupes « exposé » et « non exposé » apparié à 1 :1. Le risk ratio pour cette cohorte appariée est de 1,07, avec un intervalle de

confiance de [0,85-1,34] recouvrant largement la valeur 1, et donc clairement non significativement différent de 1.

Ce risk ratio est confirmé par une autre approche de calcul par régression conditionnelle de Poisson montrant un ratio similaire de 1,07 avec un intervalle de confiance quasiment identique de [0,84-1,36]. Cette fois, la probabilité est fournie par le logiciel ($p = 0,547$) confirmant l'absence de significativité de rapport de risque.

L'augmentation du risk ratio observé pour le nombre de vols représente le fait que le risque de présenter des symptômes ou pathologies, après avoir été exposé à des fumées, augmente légèrement lorsque le nombre de vols s'accroît.

Discussion

1 Principaux résultats

Cette étude de cohorte rétrospective représente une première tentative de recherche menée à grande échelle sur une période de temps relativement étendue. L'objectif principal de cette recherche était d'évaluer les effets potentiels sur la santé associés à l'exposition à des événements appelés *fume event*. Ces derniers se caractérisent par la présence de fumée, de vapeur ou d'odeurs suspectées de contenir des substances toxiques à bord des avions.

Les résultats obtenus de cette étude sont pertinents dans le contexte du débat sur le « Syndrome Aérotoxique ». Contrairement à certaines hypothèses avancées, les conclusions de cette recherche ne soutiennent pas l'existence de ce syndrome comme une conséquence directe des *fume event*. En effet, l'analyse des données n'a révélé aucune différence statistiquement significative dans l'apparition de symptômes ou de pathologies entre le groupe de personnes exposées à ces événements et le groupe non exposé.

Pour arriver à ces conclusions, il a été comparé les taux de prévalence et d'incidence des symptômes entre les deux groupes. Les résultats ont montré qu'il n'y avait pas de différence notable entre les groupes, que ce soit en termes de fréquence ou de gravité des symptômes rapportés. Cette absence de différence statistique signifie que, dans le cadre de cette étude, l'exposition aux *fume event* n'est pas associée à une

augmentation des problèmes de santé à moyen terme parmi les membres du groupe « exposé » par rapport au groupe « non exposé ».

De plus, au sein de la compagnie aérienne examinée, seulement 553 *fume event* ont été recensés par an, ce qui est relativement faible comparé au nombre total de vols quotidiens, qui avoisine les 1000 vols par jour (soit 15 FFO pour 1000 vols). Cette faible incidence d'évènements, combinée aux résultats de l'analyse statistique, suggère que leur impact global sur la santé du personnel navigant est limité.

2 Limites, biais et points forts

L'étude présente plusieurs limitations méthodologiques qui peuvent introduire des biais affectant la validité et la fiabilité de ses conclusions. Premièrement, une définition non précise des FFO complique l'identification et la classification des expositions potentielles, rendant les analyses moins robustes. Sans une définition claire, il est plus difficile de mesurer avec précision l'impact de ces facteurs sur la santé. En outre, l'absence de monitoring constant de la qualité de l'air constitue une lacune majeure. Les variations temporelles et spatiales de la qualité de l'air ne sont pas capturées, ce qui empêche une évaluation précise des niveaux d'exposition et de leurs effets potentiels sur la santé. De plus, l'absence d'un toxique clairement identifié complique davantage l'analyse causale, car il est difficile de lier les pathologies observées à une exposition spécifique.

Le délai d'apparition d'une pathologie est une autre source de biais de mauvaise classification. Les symptômes pouvant apparaître longtemps après l'exposition, il devient ardu de relier directement la cause et l'effet. Cela est exacerbé par la bonne santé perçue du personnel navigant, qui peuvent ne pas signaler tous les symptômes ou expositions, pouvant être expliqué par une sous-déclaration ou non-déclaration, volontaire, par peur d'un retentissement sur leur aptitude de vol. Cela a été démontré dans une revue systématique sur la santé mentale des pilotes [65]. L'étude est également monocentrique et menée par différents médecins dont les habitudes de codage varient, malgré l'utilisation de la CIM-10 pour la classification. Cette variation inter-observateur peut introduire des incohérences dans les diagnostics et les

classifications, nuisant à l'homogénéité et à la fiabilité des données. Cependant, s'il existe des biais d'information, ceux-ci sont non différentiels (ils existent de la même façon dans les 2 groupes comparés).

L'étude était rétrospective, il existe un risque inhérent de biais d'information. Bien que les facteurs de confusion aient été contrôlés initialement par l'appariement des salariés, les données historiques peuvent être incomplètes ou inexactes. Les informations peuvent être omises ou non disponibles, et les événements passés peuvent ne pas être documentés de manière uniforme, rendant difficile une analyse précise et exhaustive. Ce type de biais peut masquer des relations causales ou, au contraire, en suggérer là où il n'en existe pas.

Il existe cependant des points forts à cette étude. Toutes les pathologies étudiées ont été confirmées par un médecin et codées selon la classification CIM-10.

Le suivi obligatoire de l'ensemble des salariés dans le même service assure une cohérence dans la collecte des données. Conformément au Code du Travail, la surveillance individuelle renforcée, permet un suivi médical régulier des navigants tous les deux ans, avec un examen d'aptitude obligatoire après un retour d'arrêt maladie.

D'autre part, il n'existe pas de biais de sélection, les groupes sont appariés, ce qui renforce la validité des comparaisons.

Avec 2577 exposés et 12376 non exposés, l'étude bénéficie de grands échantillons offrant une grande puissance statistique, permettant d'objectiver de petites différences de prévalence ou d'incidence entre les deux groupes. De plus, l'étude est appariée et

les principaux facteurs de confusion sont contrôlés, bien qu'une analyse multivariée ait été employée dans l'ensemble de l'analyse de la cohorte pour une précision accrue.

3 Significativité clinique et perspectives

Les résultats obtenus démontrent que l'exposition étudiée est dénuée de significativité en termes de conséquences clinique à moyen terme pour l'équipage de la cabine et du cockpit, et s'inscrivent dans les conclusions publiées par l'ANSES en 2023.

Il est important de souligner que jusqu'à présent les articles scientifiques décrivant des effets médicaux sont surtout des rapports de cas ou des études expérimentales avec un faible nombre de salariés étudiés [2,22].

Bien que l'étude utilise une population de grande taille pour améliorer la puissance statistique des résultats et offre une approche novatrice de la problématique des *fume events*, elle présente plusieurs limites. L'absence d'identification précise des composés toxiques libérés lors de ces incidents rend difficile le suivi rigoureux de la qualité de l'air dans les cabines. Sans un monitoring précis, il est compliqué de déterminer l'impact exact des *fume events* sur la santé des passagers et de l'équipage. Cette limitation entrave la capacité de l'étude à établir des liens clairs entre l'exposition aux contaminants aéroportés et les effets sanitaires potentiels.

Pour surmonter ces obstacles, le projet AviSan [66] vise à étudier les expositions professionnelles aux contaminants de l'air dans les cabines d'avion lors d'évènements feux/fumées, en combinant expologie et épidémiologie auprès des équipages d'une grande compagnie aérienne française. Il quantifie les polluants chimiques présents dans l'air pouvant causer des effets neurotoxiques et identifie les facteurs déterminants liés aux modalités de vol. Le volet épidémiologique inclut des bilans médicaux et des tests cognitifs réalisés à T0 et T6 mois pour comparer la santé des exposés et non-exposés.

Conclusion

Dans cette étude de cohorte rétrospective sur une période de six ans, impliquant près de 21000 membres d'équipage, un plan de paires appariées a été utilisé pour examiner les conséquences médicales d'une exposition à un évènement de fumée. Les résultats révèlent pour la première fois que l'exposition à un tel évènement n'est pas associée à une augmentation significative de la prévalence des maladies ou des symptômes ultérieurs par rapport au groupe témoin. Le rapport de risque, proche de 1 et non significatif, suggère qu'il n'y a pas d'effets neurologiques notables à moyen terme dus à cette exposition. Cependant, en raison de l'insuffisance des données toxicologiques sur les évènements de fumée, des recherches supplémentaires sont nécessaires. L'étude française AviSan, pourrait fournir des résultats pour mieux comprendre ce phénomène.

Liste des tables

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1. Groupe de symptômes et pathologies, avec leur code CIM-10, possiblement liés à des évènements de fumée ou décrits comme tels dans la littérature | 34 |
| Tableau 2. Statistiques descriptives du sous-ensemble de correspondance 1:1 | 39 |
| Tableau 3. Statistiques descriptives de l'ensemble de la cohorte | 39 |
| Tableau 4 : Prévalence des groupes de maladies exprimés en pourcentage (IC à 95%) | 40 |
| Tableau 5. Modèle multivarié des risques proportionnels de Cox pour l'estimation du rapport de risque lié de manière plausible à une pathologie codée par la CIM-10 et à une exposition à un évènement de fumée dans le dossier médical | 41 |

Liste des figures

| | |
|----------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : ECS avec bleed air (d'après [44]) | 24 |
| Figure 2 : Coupe d'un réacteur (d'après [46])..... | 24 |
| Figure 3 : ECS sans bleed air (d'après [44])..... | 26 |
| Figure 4 : Construction de la cohorte | 38 |

Références

- [1] Burdon J, Budnik LT, Baur X, Hageman G, Howard CV, Roig J, et al. Health consequences of exposure to aircraft contaminated air and fume events: a narrative review and medical protocol for the investigation of exposed aircrew and passengers. *Environ Health* 2023;22:43. <https://doi.org/10.1186/s12940-023-00987-8>.
- [2] Hageman G, Pal TM, Nihom J, MackenzieRoss SJ, van den Berg M. Three patients with probable aerotoxic syndrome. *Clin Toxicol* 2020;58:139–42. <https://doi.org/10.1080/15563650.2019.1616092>.
- [3] Rapport ANSES 07/2023 n.d.
- [4] Kitzes G. Cabin air contamination problems in jet aircraft. *J Aviat Med* 1956;27:53–8.
- [5] Cabin air contamination in RB-57A Aircraft n.d. <https://perma.cc/D6G5-LJG6> (accessed July 19, 2024).
- [6] Reddall HA. ELIMINATION OF ENGINE BLEED AIR CONTAMINATION, 1955, p. 550185. <https://doi.org/10.4271/550185>.
- [7] Davidson TF, Cooley TP, Way JH. AIR FORCE EXPERIENCE WITH SYNTHETIC GAS TURBINE LUBRICANTS, 1955, p. 550080. <https://doi.org/10.4271/550080>.
- [8] Van Netten C. Air Quality and Health Effects Associated with the Operation of BAe 146-200 Aircraft. *Appl Occup Environ Hyg* 1998;13:733–9. <https://doi.org/10.1080/1047322X.1998.10390150>.
- [9] Van Netten C, Leung V. Hydraulic Fluids and Jet Engine Oil: Pyrolysis and Aircraft Air Quality. *Arch Environ Health Int J* 2001;56:181–6. <https://doi.org/10.1080/00039890109604071>.
- [10] CAQ - Preliminary cabin air quality measurement campaign - EASA_REP_RESEA_2014_4 | EASA 2017. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/research-reports/easarepresea20144> (accessed July 18, 2024).
- [11] Aircraft_Air_Quality_PL_115-254_Sec_326_1.pdf n.d.
- [12] info_securite_2020_05_prevention_emanation_fumee.pdf n.d.
- [13] Day GA. Aircraft Cabin Bleed Air Contaminants: A Review n.d.
- [14] Winder C, Balouet J-C. AEROTOXIC SYNDROME: ADVERSE HEALTH EFFECTS FOLLOWING EXPOSURE TO JET OIL MIST DURING COMMERCIAL FLIGHTS n.d.
- [15] Position Paper on Cabin Air n.d.
- [16] de Ree H, van den Berg M, Brand T, Mulder GJ, Simons R, Veldhuijzen van Zanten B, et al. Health risk assessment of exposure to TriCresyl Phosphates (TCPs) in aircraft: A commentary. *NeuroToxicology* 2014;45:209–15. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2014.08.011>.
- [17] Schuchardt S, Koch W, Rosenberger W. Cabin air quality – Quantitative comparison of volatile air contaminants at different flight phases during 177 commercial flights. *Build Environ* 2019;148:498–507. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.028>.
- [18] Air Safety And Cabin Air Quality in the BAe 146 Aircraft - Report by the Senate Rural

and Regional Affairs and Transport References Committee - Final Report. Canberra, Australia: Parliament of the Commonwealth of Australia; October 200. n.d.

- [19] Rayman RB, McNaughton GB. Smoke/fumes in the cockpit. *Aviat Space Environ Med* 1983;54:738–40.
- [20] Abou-Donia MB, Abou-Donia MM, ElMasry EM, Monro JA, Mulder MFA. Autoantibodies to Nervous System-Specific Proteins Are Elevated in Sera of Flight Crew Members: Biomarkers for Nervous System Injury. *J Toxicol Environ Health A* 2013;76:363–80. <https://doi.org/10.1080/15287394.2013.765369>.
- [21] A survey of health effects in aircrew exposed to airborne contaminants. n.d. <https://perma.cc/R4RA-QQNT> (accessed July 19, 2024).
- [22] Heutelbeck ARR, Bornemann C, Lange M, Seeckts A, Müller MM. Acetylcholinesterase and neuropathy target esterase activities in 11 cases of symptomatic flight crew members after fume events. *J Toxicol Environ Health A* 2016;79:1050–6. <https://doi.org/10.1080/15287394.2016.1219561>.
- [23] Michaelis S. Health and flight safety implications from exposure to contaminated air in aircraft. Thesis. UNSW Sydney, 2010. <https://doi.org/10.26190/unsworks/23524>.
- [24] Michaelis.S, Burdon.J, Vyvyan Howard.C. Aerotoxic Syndrome: A New Occupational disease? *Public Health Panorama: Volume 3, Issue 2, June 2017* 2017;3.
- [25] Murawski J. Case Study: Analysis of Reported Contaminated Air Events at One Major U.S. Airline in 2009-10. 41st Int. Conf. Environ. Syst., American Institute of Aeronautics and Astronautics; 2011. <https://doi.org/10.2514/6.2011-5089>.
- [26] Reneman L, Schagen SB, Mulder M, Mutsaerts HJ, Hageman G, de Ruiter MB. Cognitive impairment and associated loss in brain white microstructure in aircrew members exposed to engine oil fumes. *Brain Imaging Behav* 2016;10:437–44. <https://doi.org/10.1007/s11682-015-9395-3>.
- [27] Roig J, Domingo C, Burdon J, Michaelis S. Irritant-induced Asthma Caused by Aerotoxic Syndrome. *Lung* 2021;199:165–70. <https://doi.org/10.1007/s00408-021-00431-z>.
- [28] Winder C, Balouet J. Aircrew Exposure to Chemicals in Aircraft: Symptoms of Irritation and Toxicity. *J Occup Health Saf - Aust N Z* 2001;17.
- [29] Cabin Air Quality Assessment of Long-term Effects of Contaminants | EASA n.d. <https://www.easa.europa.eu/en/research-projects/cabin-air-quality-assessment-long-term-effects-contaminants> (accessed July 20, 2024).
- [30] Updated literature on potential health risks from organophosphate exposure in aircraft cabin air | Committee on Toxicity n.d. <https://cot.food.gov.uk/Updated%20literature%20on%20potential%20health%20risks%20from%20organophosphate%20exposure%20in%20aircraft%20cabin%20air> (accessed July 20, 2024).
- [31] Wolkoff P, Crump DR, Harrison PTC. Pollutant exposures and health symptoms in aircrew and office workers: Is there a link? *Environ Int* 2016;87:74–84. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.11.008>.
- [32] Toxic oil syndrome: current knowledge and future perspectives n.d. <https://iris.who.int/handle/10665/260458> (accessed August 2, 2024).
- [33] Dupas D, Dagherne M-A. Syndrome d'intolérance aux odeurs chimiques (SIOC) : un diagnostic à ne pas manquer. *Epidémiologie, diagnostic, traitement. Rev Mal Respir*

2013;30:99–104. <https://doi.org/10.1016/j.rmr.2012.06.016>.

[34] Abou-Donia MB. Organophosphorus ester-induced delayed neurotoxicity. *Annu Rev Pharmacol Toxicol* 1981;21:511–48. <https://doi.org/10.1146/annurev.pa.21.040181.002455>.

[35] Ehrich M, Jortner BS. Organophosphorus-Induced Delayed Neuropathy. In: Krieger R, editor. *Hayes Handb. Pestic. Toxicol. Third Ed.*, New York: Academic Press; 2010, p. 1479–504. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374367-1.00069-0>.

[36] AVsa2016admin. AVSA - Aide et conseil aux victimes du Syndrome Aérotoxique. AVSA Assoc Vict Syndr Aérotoxique n.d. <https://www.syndrome-aerotoxique.com/aide-et-conseil-aux-victimes-du-syndrome-aerotoxique> (accessed July 22, 2024).

[37] Article L6524-1 - Code des transports - Légifrance n.d. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000042655845 (accessed July 31, 2024).

[38] AIR2019SA0075Ra.pdf n.d.

[39] Maintenance. Personnel navigant professionnel n.d. https://www.aviation-civile.nc/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=227 (accessed July 16, 2024).

[40] Article L6521-1 - Code des transports - Légifrance n.d. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000042655766 (accessed July 31, 2024).

[41] Règlement Européen n°1178/2011 n.d.

[42] Silverman D, Gendreau M. Medical issues associated with commercial flights. *The Lancet* 2009;373:2067–77. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)60209-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60209-9).

[43] Article R4624-22 - Code du travail - Légifrance n.d. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000033769092 (accessed July 31, 2024).

[44] Standards E. Cabin air quality on civil aircraft. Chemical compounds. PD CEN/TR 17904:2022. <https://www.en-standard.eu/pd-cen-tr-17904-2022-cabin-air-quality-on-civil-aircraft-chemical-compounds/> (accessed July 17, 2024).

[45] National Research Council (US) Committee on Airliner Cabin Air Quality. *The Airliner Cabin Environment: Air Quality and Safety*. Washington (DC): National Academies Press (US); 1986.

[46] SYNDROME AÉROTOXIQUE n.d. <https://www.atctoxicologie.fr/dossiers/le-syndrome-aerotoxique.html> (accessed July 20, 2024).

[47] National Research Council (US) Committee on Air Quality in Passenger Cabins of Commercial Aircraft. *The Airliner Cabin Environment and the Health of Passengers and Crew*. Washington (DC): National Academies Press (US); 2002.

[48] Herranz A. The APU and its benefits. AERTEC 2015. <https://aertecsolutions.com/en/2015/05/11/the-apu-and-its-benefits/> (accessed July 17, 2024).

[49] Article L6521-6 - Code des transports - Légifrance n.d. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000023077703 (accessed July 18, 2024).

[50] Titre Ier : Risques chimiques (Articles R4411-1 à R4412-160) - Légifrance n.d. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006072050/LEGISCTA0000

18490115/#LEGISCTA000018531162 (accessed July 18, 2024).

- [51] US EPA O. Airport Deicing Effluent Guidelines Documents 2015. <https://www.epa.gov/eg/airport-deicing-effluent-guidelines-documents> (accessed July 18, 2024).
- [52] Mobil Jet Oil II n.d. <https://www.exxonmobil.com/en-us/aviation/pds/gl-xx-mobil-jet-oil-ii> (accessed July 26, 2023).
- [53] Wang C, Yang X, Guan J, Li Z, Gao K. Source apportionment of volatile organic compounds (VOCs) in aircraft cabins. *Build Environ* 2014;81:1–6. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.007>.
- [54] Phtalate de bis(2-éthylhexyle) (FT 161). Caractéristiques - Fiche toxicologique - INRS n.d. https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_161 (accessed July 18, 2024).
- [55] Maddalena RI, McKone TE. Insecticide Exposures on Commercial Aircraft: A Literature Review and Screening Level Assessment. 2008. <https://doi.org/10.2172/944128>.
- [56] Wei B, Mohan KR, Weisel CP. Exposure of flight attendants to pyrethroid insecticides on commercial flights: urinary metabolite levels and implications. *Int J Hyg Environ Health* 2012;215:465–73. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.08.006>.
- [57] Chen R, Fang L, Liu J, Herbig B, Norrefeldt V, Mayer F, et al. Cabin air quality on non-smoking commercial flights: A review of published data on airborne pollutants. *Indoor Air* 2021;31:926–57. <https://doi.org/10.1111/ina.12831>.
- [58] Crump D, Harrison P, Walton C. Aircraft Cabin Air Sampling Study: Part 1 of the Final Report 2011.
- [59] Rosenberger W. Effect of charcoal equipped HEPA filters on cabin air quality in aircraft. A case study including smell event related in-flight measurements. *Build Environ* 2018;143:358–65. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.031>.
- [60] Crump D, Harrison P, Walton C. Aircraft Cabin Air Sampling Study; Part 2 of the Final Report 2011.
- [61] Michaelis S, Loraine T, Howard CV. Ultrafine particle levels measured on board short-haul commercial passenger jet aircraft. *Environ Health* 2021;20:89. <https://doi.org/10.1186/s12940-021-00770-7>.
- [62] Characterisation of the toxicity of aviation turbine engine oils after pyrolysis (AVOIL) - EASA_REP_RESEA_2015_2 | EASA 2017. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/research-reports/easarepresea20152> (accessed July 18, 2024).
- [63] CIM-10 (2021) n.d.
- [64] imatch for matching in Stata - UQ eSpace n.d. <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:692055> (accessed August 28, 2024).
- [65] Ackland CA, Molesworth BRC, Grisham JR, Lovibond PF. Pilot Mental Health, Methodologies, and Findings: A Systematic Review. *Aerosp Med Hum Perform* 2022;93:696–708. <https://doi.org/10.3357/AMHP.6043.2022>.
- [66] Bensefa-Colas L, Mullot J-U. La qualité de l'air à l'intérieur des cabines d'avion. *Cah Rech Santé Environ Trav* 2019:42.

Annexe 1



Site COCHIN
27, rue du Faubourg Saint-Jacques
75679 PARIS Cedex 14
Standard : 01 58 41 41 41

Comité Local d'éthique pour les publications
de l'hôpital Cochin

CLEP: clep.cochin.cch@aphp.fr

Professeur Romain CORIAT
Président
Secrétariat : 01 58 41 19 52
Télécopie : 01 58 41 41 55
Romain.coriat@aphp.fr

Professeur Benoit TERRIS
Vice-Président
Secrétariat : 01 58 41 14 71
Benoit.terris@aphp.fr

Membres :

Professeur Maximilien BARRET
Professeur Bruno BORGHESE
Docteur Catherine BREZAUULT
Professeur Anthony DOHAN
Professeur David FUKS
Professeur Nicolas BARRY de LONGCHAMPS
Professeur Pietro SANTULLI
Docteur Stylianos TZEDAKIS
Professeur Benjamin TERRIER

Pour tout renseignement merci de contacter le
Secrétariat à l'adresse suivante :
Clep.cochin.cch@aphp.fr

**LOCAL ETHICS COMMITTEE FOR THE
COCHIN HOSPITAL PUBLICATIONS**
For more information please contact the
Secretariat at the following address:
Clep.cochin.cch@aphp.fr

Décision CLEP N°: AAA-2024-10005

Paris, le 12 février 2024

Docteur Klerlein Michel

Monsieur,

Le Comité Local d'Éthique pour les publications de l'hôpital Cochin (CLEP) s'est réuni et a rendu **un avis favorable** concernant votre étude intitulée : « **Conséquences médicales d'une exposition à un « fume event » - Etude rétrospective de cohorte appariée pour 2577 personnels navigants exposés** »

Vous trouverez joint à ce courrier la lettre d'avis en anglais.

En restant à votre disposition pour tout renseignement complémentaire.

Bien confraternellement,

Professeur Romain CORIAT

Comité Local d'éthique pour les publications de l'hôpital Cochin (CLEP)

Annexe 2

Questionnaire Feux Fumées Odeurs



Madame, Monsieur,

Le Service de Santé au Travail a été averti par le CCO de l'évènement "feu - fumées - odeurs" que vous avez subi sur un de vos derniers vols. Nous espérons que cet incident n'a pas eu de conséquence néfaste sur votre santé.

Afin connaître les effets sanitaires potentiels de cette situation, et les suites qui ont pu lui être données, nous vous proposons de répondre au court questionnaire ci après

Ces données sont strictement limitées au périmètre médical, et donc couvertes par le secret médical.

Votre service médical est à votre disposition pour vous recevoir ou vous donner des informations téléphoniques au sujet de cet évènement.

Nous vous remercions par avance de votre coopération, et restons à votre disposition pour tout renseignement utile.

Les médecins et infirmières des services médicaux du travail

.....

Q1 * QUEL EST VOTRE NOM ?

Q2 * QUEL EST VOTRE PRENOM ?

Q3 * QUEL EST VOTRE MATRICULE (8 CHIFFRES)

Q4 * NUMERO DU VOL CONCERNE

Renseigner le numéro du vol sur lequel l'évènement FFO a eu lieu

Q5 * DATE DU VOL CONCERNE

Q6 QUELLE EST L'IMMATRICULATION DE L'AVION (format F-XXXX)

Q7 * COCHEZ LE OU LES SYMPTÔMES QUE VOUS AVEZ RESENTI

Il s'agit de symptômes survenus dans les minutes suivant l'exposition

- AUCUN SYMPTOME
- MAUX DE TÊTE
- NAUSEES
- VOMISSEMENTS
- DOULEURS ABDOMINALES
- SENSATION D'ÉBRIÉTÉ
- IRRITATIONS (YEUX - GORGE)
- GÊNE RESPIRATOIRE
- SENSATION DE FATIGUE
- FAIBLESSE GÉNÉRALISÉE
- SUDATIONS PROFUSES
- VISCOSITÉ INTELLECTUELLE
- DIFFICULTÉ D'ÉLOCUTION
- AUTRE

Q8 QUEL(S) AUTRE(S) SYMPTÔME(S)

(Q7 est parmi "AUTRE")

Q9 * QUELLE(S) CONTRE-MESURE(S) AVEZ VOUS ADOPTÉ ?

- AUCUNE CONTRE-MESURE
- MASQUE O₂
- HUMIDIFICATION VISAGE
- MÉDICAMENT DE LA TPS
- AUTRE

Q10 QUEL MÉDICAMENT ?

(Q9 est parmi "MÉDICAMENT DE LA TPS")

Q11 QUELLE AUTRE CONTRE-MESURE ?

(Q9 est parmi "AUTRE")

Q12 * APRÈS VOTRE ARRIVÉE, AVEZ VOUS CONSULTÉ UN MÉDECIN OU UNE AUTRE STRUCTURE SANITAIRE ?

- OUI
- NON

Q13 * QUEL MEDECIN OU STRUCTURE SANITAIRE ?

(Q12 est = "OUI")

- SERVICE MEDICAL PN AIR FRANCE IOZM
- SERVICE MEDICAL ADP
- SERVICE HOSPITALIER OU CLINIQUE
- MEDECIN GENERALISTE
- AUTRE

Q14 QUELLE AUTRE STRUCTURE SANITAIRE ?

(Q13 est parmi "AUTRE")

Q15 * QUEL TRAITEMENT VOUS A T ON PROPOSE ?

(Q12 est = "OUI")

- AUCUN
- ANTI ASTHME (ventoline par ex)
- ANTI DOULEUR
- ANTI NAUSEEUX
- OXYGENE
- PERFUSION
- AUTRE

Q16 QUEL(S) AUTRE(S) TRAITEMENT(S) ?

(Q15 est parmi "AUTRE")

Q17 * DE QUELS EXAMENS AVEZ VOUS BENEFICIE ?

EXAMENS

(Q12 est = "OUI")

- TEST DU SOUFFLE (Spirométrie)
- RECHERCHE DE CO DANS L'AIR EXPIRE
- PRISE DE SANG
- OXYMETRIE DE POULS (au bout du doigt)
- ECG
- AUTRE
- AUCUN

Q18 QUEL(S) AUTRE(S) EXAMEN(S) ?

(Q17 est parmi "AUTRE")

* Réponse obligatoire

Merci d'avoir pris le temps de répondre à ce questionnaire.

AUTEUR : Nom : DUBIEZ **Prénom :** Léna

Date de Soutenance : 27/09/2024

Titre de la Thèse : Conséquences médicales d'une exposition à un « *fume event* » : étude de cohorte rétrospective appariée pour 2577 personnels navigants exposés.

Thèse - Médecine - Lille 2024

Cadre de classement : Médecine du Travail

DES + FST ou option : Médecine du Travail

Mots-clés : syndrome aérotoxique, *fume event*, aéronefs, personnel navigant

Résumé :

Contexte : Depuis une cinquantaine d'années, des préoccupations émergent concernant la qualité d'air dans les avions et ses effets potentiels sur la santé. Elles concernent surtout des événements de fumées inhabituelles appelés « *fume event* », pour lesquelles le personnel navigant exposé exprime un ensemble de symptômes appelés communément « syndrome aérotoxique » par de nombreux auteurs. L'existence d'un lien de causalité reste cependant débattue par la communauté médicale.

Sujets et Méthodes : Depuis 2017, tout événement de fumée rencontré est déclaré et figure dans le DMST du personnel navigant d'une grande entreprise nationale française de transport aérien. Les symptômes et pathologies émergents sont codés selon la classification CIM-10. Ce travail de thèse consiste en une étude de cohorte rétrospective sur 20906 salariés. Le groupe « exposé » représentait 2577 salariés exposés à au moins un *fume event* entre 2017 et 2022, pour lesquels un appariement avec le groupe « non exposé » a été réalisé sur les critères d'âge, de sexe, de fonction (cabine/cockpit), de type de vol, de nombre d'heures de vols dans la carrière et du nombre de vols dans la carrière. Un test comparatif de prévalences et d'incidences, ainsi qu'une estimation d'un rapport de risque ont été réalisées après appariement.

Résultats : Grâce au processus d'appariement, il existe peu de différences démographiques concernant les caractéristiques des groupes « exposé » et « non exposé ». Les tests de comparaison de prévalence et d'incidence ainsi que l'estimation du rapport de risque n'ont retrouvé aucune différence significative entre le groupe « exposé » et le groupe « non exposé ».

Conclusion :

Aucune association entre l'exposition à un événement « *fume event* » et une augmentation de la prévalence des maladies ou des symptômes chez le personnel navigant n'a été démontré.

Composition du Jury :

Président : Madame le Professeur Annie SOBASZEK

Assesseurs : Madame le Docteur Caroline BEAUDELOT

Directeurs : Monsieur le Docteur Michel KLERLEIN
Madame le Docteur Ariane LEROYER