

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 23 septembre 2024

AVIS révisé¹ **de l'Agence nationale de sécurité sanitaire** **de l'alimentation, de l'environnement et du travail**

relatif à l'« Etat des connaissances sur les effets sur la santé liés à la profession de personnels navigants et sur la qualité de l'air dans les cabines d'avion »

*L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.
L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.
Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.
Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).
Ses avis sont publiés sur son site internet.*

L'Anses a été saisie le 17 avril 2019 par la Confédération française démocratique du travail (CFDT) pour la réalisation de l'expertise suivante : "Demande d'avis relatif aux conséquences sanitaires de la pollution de l'air dans les avions de ligne ».

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

Depuis plusieurs années, des personnels navigants rapportent des symptômes qu'ils associent à des expositions à des odeurs inhabituelles / émanations ou à des fumées dans les cabines ou dans les cockpits d'avions. Ces symptômes, très variés et aspécifiques, ont été mentionnés dans plusieurs études et regroupés par certains auteurs sous le terme de « syndrome aérotoxique ». Ils ont pu conduire, pour certains travailleurs, à la perte de leur aptitude aéromédicale².

¹ Cette version annule et remplace la version du 11 octobre 2023 (les modifications apportées sont tracées en annexe 2)

² Aptitude aéromédicale : aptitude prononcée pour un personnel navigant par un médecin agréé par la Direction générale de l'aviation civile (DGAC) sur la capacité de ce professionnel à occuper son poste

Dans la grande majorité des avions, l'air alimentant la cabine est en partie prélevé au niveau des compresseurs des moteurs. Par conséquent, ces odeurs inhabituelles ou fumées sont couramment attribuées à une potentielle contamination de l'air des cabines par des composés issus de l'huile moteur ou de sa dégradation thermique, désignée dans la littérature par l'expression « fume event ».

La qualité de l'air des cabines d'avion et les phénomènes de sa contamination font ainsi l'objet d'une attention croissante de la part des personnels navigants et des autorités de l'aviation civile.

Des recommandations internationales sont également émises par l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI) dans le contexte de la mise en péril de la sécurité aérienne dans le cas de contamination par des vapeurs d'huile moteur sur des vols commerciaux.

Dans ce contexte, l'Anses a reçu en 2019 une saisine de la part de la Confédération française démocratique du travail (CFDT) qui regroupe les demandes de l'Association des victimes du syndrome aérotoxique (AVSA), du Syndicat des pilotes de ligne (SPL), du Syndicat national du personnel navigant (SNPNC-FO) et du Syndicat national des pilotes de ligne (SNPL) sollicitant une expertise scientifique sur les conséquences sanitaires de la pollution de l'air dans les avions de ligne. En accord avec les demandeurs, le périmètre de la saisine a été révisé afin de dresser un état des connaissances sur :

- Les effets sur la santé liés à la profession de personnel navigant. Ce bilan comprend, une analyse et une synthèse des données chez l'humain notamment épidémiologiques sur les facteurs de risque pour la santé des personnels navigants ainsi qu'une analyse des données relatives au syndrome aérotoxique à l'origine de la saisine (chapitre 3 du rapport).
- La pollution chimique de l'air des cabines d'avions d'une part en l'absence d'évènement particulier et d'autre part lors de « *fume events* ». Ce bilan documente les sources d'émission des polluants, les facteurs d'influence, la nature des polluants et leur concentration. L'expertise porte sur les contaminants de l'air d'origine minérale ou organique, qu'ils soient gazeux ou particulaires, quelle que soit leur taille (chapitre 4 du rapport). Les polluants biologiques sont exclus du champ de l'expertise.
- Les différentes recommandations institutionnelles existantes sur les moyens de prévention des évènements de contamination de l'air de la cabine et la conduite à tenir lors de ces incidents en vol et après les vols (chapitre 5 du rapport).

La demande initiale des syndicats incluait une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) pour les personnels navigants. Il a été convenu de réaliser dans un premier temps, l'expertise sur les trois volets présentés, et d'évaluer la pertinence et la faisabilité d'une EQRS si les données identifiées dans ce cadre le permettent.

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'Anses a mis en place un groupe de travail *ad hoc* après appel public à candidature (GT Avions), rattaché au comité d'experts spécialisé (CES) « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » pour l'instruction de cette saisine.

La réalisation des travaux s'est également appuyée sur les compétences de différentes unités de l'Anses notamment l'unité en charge de l'évaluation des risques liés à l'air, la mission transversale portant sur les alertes et les vigilances sanitaires.

Les travaux ont été présentés au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques entre novembre 2019 et juillet 2023 (mandats 2017-2020 et 2020-2023). Ils ont été adoptés par le CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » réuni le 3 juillet 2023.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Des commentaires ont été transmis par les demandeurs par courrier en date du 14 mars 2024. Après analyse par le CES réuni le 5 juillet 2024, aucun commentaire ne remet en cause les conclusions et recommandations du CES, qui demeurent inchangées. Certains commentaires ont en revanche conduit à apporter des précisions et corriger des erreurs notamment sur la partie relative au fonctionnement de la ventilation et de mise en forme du rapport d'expertise. Il s'agit de corrections factuelles, dont la traçabilité figure en annexe 2 du rapport d'expertise. Les modifications dans l'avis se limitent à faire mention de la révision du rapport d'expertise (Cf. annexe 2).

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet : <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

Méthodologie générale

Pour répondre aux questions de l'expertise, plusieurs revues de la littérature scientifique ont été réalisées en suivant les recommandations de l'Anses (Anses, janvier 2023). Elles ont suivi les étapes visant à recenser et sélectionner les données disponibles, en évaluer la qualité puis synthétiser les plus pertinentes pour établir l'état des lieux des connaissances sur les effets sanitaires liés à la profession de personnel navigant et celui sur les composés chimiques gazeux et particulaires présents dans l'air des cabines d'avion. Les bases de données bibliographiques Pubmed, Scopus, complétées, pour les thématiques portant sur les composés présents dans l'air des cabines et le syndrome aérotoxique, par Google Scholar, ont été consultées jusqu'en décembre 2022, avec une veille bibliographique assurée jusqu'au 1er juin 2023.

La qualité des études a été évaluée à partir de grilles existantes en fonction du type d'études (Armstar2 pour les revues, et grilles de lecture pour les articles princeps) afin d'inclure les données les plus pertinentes au regard des questions de l'expertise.

La littérature grise³ prise en compte est issue de la recherche des références sur les sites internet consultés d'organismes et institutions en lien avec l'aviation civile (EASA, IATA...)⁴, la

³ NB : la littérature grise est ce qui est produit par toutes les instances du gouvernement, de l'enseignement et la recherche publique, du commerce et de l'industrie, sous un format papier ou numérique, et qui n'est pas contrôlé par l'édition commerciale (<https://www.cairn.info/revue-i2d-information-donnees-et-documents-2015-1-page-30.htm#no1>).

⁴ EASA : Agence européenne de la sécurité aérienne ; IATA : Association du transport aérien international

santé des travailleurs (INRS, NIOSH...)⁵ et la santé environnementale (US-EPA...) ⁶ de septembre à décembre 2021.

Les données de santé du Réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles (RNV3P) ont été extraites afin d'identifier les maladies professionnelles des personnels navigants qui ont consulté les centres de consultations des pathologies professionnelles et environnementales (CCPPE). Les données du Système d'information des Centres antipoison (SICAP) ont été extraites afin d'identifier les cas rapportés suite à une suspicion d'altération de la qualité de l'air dans les avions.

La collecte des informations nécessaires à la conduite de cette expertise s'est également appuyée sur différentes auditions de parties prenantes de l'aviation civile :

- un professeur en conception d'aéronefs, mécanique du vol et systèmes d'aéronefs à l'Université des sciences appliquées de Hambourg (8 juillet 2021)
- la Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile (DSAC) et de l'Organisme pour la Sécurité de l'Aviation Civile (OSAC) (14 janvier 2022)
- la compagnie Air France (service de maintenance (24 juin 2022) et service médical (10 mai 2022))
- la compagnie Corsair (12 septembre 2022)
- le service médical d'urgences et de soins de l'aéroport Charles de Gaulle (10 juin 2022)
- l'association française des victimes du syndrome aérotoxique (13 septembre 2022)

Enfin, une consultation internationale d'agences ou organismes institutionnels dans le domaine de la sécurité aérienne a été organisée entre juin 2022 et octobre 2022 pour recueillir des informations relatives aux recommandations institutionnelles existantes sur les moyens de prévention des événements de contamination de l'air des cabines.

Le tableau 1 répertorie les questions abordées lors de l'expertise et les méthodes et outils déployés pour y répondre.

Tableau 1 : méthodologie générale

Question principale	Sous questions	Méthode
Comment se caractérise la population d'étude ?	Quelles sont les caractéristiques des personnels navigants en France : nombre, activités, facteurs environnementaux et conditions de travail, réglementation associée ?	Recherche des données institutionnelles : réglementaire, prévoyance
	Quelles sont les données de vigilance et de sinistralité associées à cette profession en France ?	Extraction des données des bases de données de vigilance et de sinistralité

⁵ INRS : Institut national de recherche et de sécurité ; NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health

⁶ US-EPA : United States Environmental Protection Agency

Question principale	Sous questions	Méthode
Quels sont les effets sur la santé liés à la profession de personnel navigant ?	<p>Quelles sont les maladies observées chez les personnels navigants ?</p> <p>Quelles sont les données relatives au « syndrome aérotoxique ? »</p>	<p>Revue de la littérature (scientifique, grise) à partir des 5 étapes* recommandées par l'Anses portant sur les études sur les effets sur la santé chez les personnels navigants (épidémiologie, études de cas, revue de la littérature)</p> <p>Exploitation des données disponibles pour les passagers et extrapolables au personnel navigant.</p>
Quelles sont les connaissances sur la qualité de l'air dans les cabines d'avion ?	<p>Comment s'opère le renouvellement de l'air dans la cabine?</p> <p>La qualité de l'air des cabines est-elle réglementée ?</p> <p>Quelles sont les sources des polluants mesurés dans l'air des cabines ?</p> <p>Qu'est-ce qu'un « fume event » et comment est-il caractérisé ?</p> <p>Quels sont les composés gazeux et particulaires mesurés en cabine et à quel niveau de concentration, d'une part en l'absence d'évènement particulier/en conditions habituelles de vol et d'autre part lors de « fume events » ?</p>	<p>Echange avec les parties prenantes lors d'auditions (Ingénierie aéronautique et constructeurs)</p> <p>Revue de la littérature (scientifique et grise) à partir des 5 étapes* recommandées par l'Anses documentant les sources, polluants, gammes de concentration dans l'air des cabines ou cockpit d'avions</p>
Quelles sont les recommandations institutionnelles existantes sur les moyens de prévention des évènements de contamination de l'air de la cabine et la conduite à tenir lors de ces incidents en vol et après les vols ?		<p>Examen de la littérature grise et informations recueillies dans le cadre d'une consultation internationale afin de décrire les mesures existantes en termes de prévention et de gestion</p> <p>Echange avec les parties prenantes lors d'auditions (DSAC, compagnies aériennes)</p>
<p>*Cinq étapes suivies pour la revue de la littérature suivant la méthodologie préconisée par l'Anses : identification des références disponibles, sélection des références pertinentes, confirmation de l'éligibilité des études sélectionnées, évaluation de la qualité des études éligibles, réalisation de la synthèse</p>		

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES

3.1. Population des personnels navigants en France

Dans cette expertise, le terme « **personnel(s) navigant(s)** » regroupe plusieurs catégories de professionnels définies par le code des Transports exerçant différentes activités ou missions au sein d'un avion, également appelé aéronef (conduite, service à bord, essais...).

3.1.1. Description de la population

Sur la base des données de la Caisse des retraites complémentaire du personnel navigant professionnel de l'aéronautique civile (CRPN), le nombre de personnels navigants en France est estimé à près de 33 000, en 2020, principalement dans le secteur du transport public. Les données identifiées et retenues dans le cadre de cette expertise portent exclusivement sur les personnels navigants techniques (PNT), correspondant aux postes de pilotage, et les personnels navigants commerciaux (PNC), membres d'équipage de cabine.

Les personnels navigants sont exposés à différents facteurs environnementaux et à des conditions de travail particulières, notamment : température, humidité, pression, flux d'air, bruit, niveau d'oxygène, rayonnement cosmique, vibrations, durée de travail, travail posté, position sédentaire, décalage horaire, tabagisme passif⁷, etc.

Les durées de travail et d'aptitude sont réglementées en France par le Code de l'aviation civile. Un suivi médical spécifique de ces personnels est effectué régulièrement dans le cadre de la médecine du travail et du renouvellement de l'aptitude aéromédicale.

3.1.2. Données issues des réseaux de vigilance

L'analyse des données de la base du RNV3P, pour les années 2001 à 2021, a permis d'identifier 101 pathologies en relation avec le travail (PRT) concernant les personnels navigants pour lesquelles l'exposition professionnelle a une imputabilité à minima faible.

Les psychopathologies et les cancers sont les maladies les plus représentées, puis viennent les troubles du sommeil, les « intoxications » correspondant à des manifestations cliniques rapportées à des substances, les troubles musculo-squelettiques, les troubles de l'audition et d'autres maladies de natures diverses.

Parmi ces 101 PRT, vingt dossiers mentionnent des expositions liées à l'air des cabines (« fume event », « odeur âcre / d'huile brûlée... », etc.), rapportées par les patients, ou des signes cliniques qui pourraient être en relation avec ces expositions. En complément, trois dossiers non conclus en PRT mentionnaient également ces expositions et/ou ces signes cliniques.

L'analyse des cas rapportés aux centres antipoison (CAP) a permis d'identifier 66 événements, impliquant 112 personnes entre 2000 et 2021, dont 108 membres d'équipage, décrits par la perception d'une odeur inhabituelle, de « vapeur/gaz » ou de fumée. Lorsque l'information était connue, l'odeur perçue était décrite majoritairement comme une odeur de « chaussettes mouillées », de kérosène et d'« huile moteur ». La plupart des personnes (92,9 %) a déclaré des symptômes, tous de faible gravité et d'évolution favorable lorsque des éléments sur le suivi de l'évolution étaient disponibles (50 % des cas). Les symptômes les plus fréquents étaient neurologiques (céphalées, vertiges, paresthésie), suivis par des troubles digestifs (nausées, diarrhée, irritation buccale) et respiratoires (douleurs oropharyngées, irritation des voies aériennes supérieures, toux).

Il faut noter que ces bases de vigilance ne permettent pas d'avoir une image représentative des fréquences réelles de maladies dans un secteur donné car il ne s'agit pas de dispositifs de surveillance sanitaire.

⁷ L'exposition au tabagisme passif a cessé en 2007 avec l'entrée en vigueur du Décret n° 2006-1386 du 15 novembre 2006 fixant les conditions d'application de l'interdiction de fumer dans les lieux affectés à un usage collectif ; à noter que certains vols étaient déjà non-fumeurs depuis les années 1990.

3.2. État des connaissances sur les effets sur la santé liés à la profession de personnel navigant

Les effets sur la santé liés à la profession de personnel navigant ont été identifiés à partir des revues épidémiologiques et des études de cohortes ou transversales étudiant la mortalité et la morbidité en lien avec les conditions d'exposition ou de travail des personnels navigants.

D'après la monographie n° 124 de 2020 du Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) sur la cancérogénicité du travail de nuit posté⁸, cette profession est particulièrement concernée par le travail pendant les heures normales de sommeil de la population générale. et également co-exposée aux rayonnements ionisants, notamment cosmique, qui dépendent de l'altitude. Le premier rapport relatif à la qualité de l'environnement des cabines d'avions de l'Académie des Sciences américaine (*National Research Council – NRC*) soulignait en 1986 que les personnels navigants étaient exposés au tabagisme passif dans les cabines d'avions au vu de l'organisation des espaces fumeurs/non-fumeurs et du fonctionnement de la ventilation. La monographie 83 de 2004 du CIRC évaluant la cancérogénicité de la fumée de tabac et du tabagisme passif, rapporte également une exposition importante au tabagisme passif dans des locaux de travail avec zone fumeurs sans ventilation séparée ainsi qu'une exposition des personnels navigants plus élevée que celle de la population générale.

Concernant le syndrome aérotoxique, les références sont principalement des études de cas et des études investiguant les polluants pouvant être à l'origine des symptômes ressentis notamment par la recherche de biomarqueurs.

3.2.1. Cancers

L'analyse de la littérature complétée par les résultats des monographies du CIRC ont permis de conclure à une augmentation de l'incidence de certains cancers, tels que les cancers de la peau (épidermoïdes et mélanomes) et les leucémies chez les personnels navigants. D'après la littérature et les monographies du CIRC, les rayonnements solaire et cosmique pourraient en être la cause.

Concernant les cancers de la prostate et du sein, maladies cancéreuses retrouvées chez les personnels navigants et identifiées dans la littérature, il est plus difficile de conclure sur une augmentation du risque dans cette population, en raison le plus souvent d'un manque d'études disponibles et de facteurs de confusion potentiels non pris en compte dans les analyses. Le CIRC a, quant à lui, conclu qu'il existait des preuves limitées chez l'humain, mais suffisantes chez l'animal et solides au niveau mécanistique pour démontrer le lien entre ces maladies et le travail de nuit posté. Le CIRC a également conclu à un niveau de preuve suffisant pour le cancer du poumon en lien avec le tabagisme passif. Il n'est pas non plus possible de conclure pour les autres maladies cancéreuses identifiées dans la littérature (lymphome non hodgkinien (LNH), cancers du col de l'utérus, des ovaires, du cerveau, de la thyroïde, colo-rectal, de la vessie et des testicules) du fait d'un manque d'études ou de la présence de données inconsistantes.

⁸ Le travail de nuit posté comprend le travail, y compris les voyages transmériidiens aériens, pendant les heures normales de sommeil de la population générale. Le décalage, ou la perturbation, des rythmes circadiens physiologiques normaux sont les effets les plus importants du travail de nuit posté (CIRC, 2020).

A noter que le CIRC a émis des conclusions sur d'autres maladies cancéreuses en lien avec le travail de nuit posté, et les rayonnements cosmique et solaire. Ces maladies n'ont pas été reprises dans ce rapport car elles n'ont pas été retrouvées dans la revue de la littérature réalisée dans le cadre de cette expertise.

Une synthèse de ces résultats est présentée dans le Tableau 2 Tableau 2 (cf. Annexe).

3.2.2. Maladies non cancéreuses

Pour les maladies autres que les cancers, les études identifiées dans la revue de la littérature ont porté sur la survenue de maladies cardiovasculaires, d'effets respiratoires, d'effets sur la reproduction féminine, de troubles musculo-squelettiques (TMS), de troubles psycho-sociaux chez le personnel navigant et les passagers. Un manque de données récentes sur les maladies respiratoires chez le personnel navigant est souligné. Il n'est pas possible de conclure sur une association entre la profession de personnel navigant et le risque de survenue de ces maladies du fait de données insuffisantes se limitant à des données descriptives par comparaison à la population générale.

Une synthèse de ces résultats est présentée dans le Tableau 3 (cf. Annexe).

Le terme « syndrome aérotoxique » a été introduit à la fin des années 90 par deux auteurs, Balouet et Winder, et désigne un regroupement de symptômes évoqués par des personnels navigants ou observés par le personnel de santé, suite à des événements d'odeurs, fumées ou émanations, qui pourraient être en lien avec une contamination de l'air des cabines d'avion par des huiles moteurs ou fluides hydrauliques. Les symptômes décrits sont divers : irritations des yeux, troubles digestifs, troubles respiratoires, troubles neurologiques, etc. Selon ces auteurs, ces contaminations supposées de l'air de la cabine pourraient également conduire à long terme à des effets principalement d'ordre neurologique ou neuropsychiatrique.

L'expertise du corpus de données identifiées conforte la conclusion du *National research of council* (NRC) de 2002 selon laquelle, en raison d'un manque d'informations, un niveau de preuve faible est attribué à la désignation d'un syndrome spécifiquement lié à l'exposition à divers polluants ou produits de décomposition qui proviennent de fuites d'huiles moteur ou de fluides hydrauliques. En effet, Balouet et Winder ont publié des études courtes, souvent avec des méthodologies peu détaillées, dans des revues sans comité de lecture, et dont les résultats n'ont pas été reproduits par d'autres équipes de recherche. De plus, les données récentes sont issues d'études de cas reposant sur l'analyse clinique et la formulation d'une série d'hypothèses. Elles ne permettent pas d'établir un lien entre, d'une part les troubles et les biomarqueurs identifiés, d'autre part une contamination de l'air de la cabine d'avion. Elles reposent sur un nombre limité de sujets et ne fournissent pas toujours le détail des méthodes utilisées.

En complément, des recherches ont été conduites sur les biomarqueurs au regard des substances incriminées, centrées sur l'hypothèse d'une exposition au tri-ortho-crésylphosphate (ToCP), présent dans les huiles moteur, ou plus récemment par une exposition à des particules ultrafines. Les investigations actuelles portent sur des marqueurs d'atteinte neuronale (cholinestérases, *neuropathy target esterase*, auto-anticorps). Dans ces études, plusieurs limites ont été soulevées, notamment le manque de valeur basale pour chaque sujet (absence de dosage des biomarqueurs avant exposition), le manque d'étude sur l'évolution dans le temps des niveaux de biomarqueurs en fonction de la reprise ou non de

l'activité professionnelle et la non prise en compte des antécédents traumatologique et infectieux.

3.3. État des connaissances sur les polluants gazeux et composés particuliers dans l'air des cabines d'avions

3.3.1. Fonctionnement de la ventilation

L'air fourni au cockpit et à la cabine d'un avion pressurisé en vol passe par un système de conditionnement d'air (*environmental control system* - ECS). Ce dernier vise à fournir un débit d'air suffisant pour assurer une pression partielle d'oxygène répondant aux besoins physiologiques de l'équipage et des passagers et empêche l'accumulation de niveaux excessifs de dioxyde de carbone dans la cabine. Il est également conçu pour assurer une température de l'air homogène dans toute la cabine. Dans la plupart des grands avions de transport, l'air de la cabine fourni par cet ECS est issu d'une combinaison d'air prélevé dans les parties basse et haute pression des moteurs - appelé « *bleed air* » - et d'air recyclé (environ 40 à 60 %). Ce *bleed air* sert également à pressuriser le système d'eau potable à bord des avions. La plupart des avions sont équipés de systèmes de filtres de particules à haute efficacité (HEPA) utilisés pour filtrer l'air de recirculation. Au sol, l'air peut être prélevé dans le groupe auxiliaire de puissance (APU). Dans un modèle d'avions dits sans *bleed air*, l'air extérieur n'est pas prélevé au niveau des moteurs mais directement à l'extérieur de l'avion *via* une entrée dédiée et un compresseur électrique et combiné à de l'air recyclé.

3.3.2. Lignes directrices sur la qualité de l'air dans les cabines

Parmi les exigences techniques relevant du processus de certification des avions commerciaux encadré par les autorités de sécurité aérienne (EASA pour l'Europe), certaines portent sur les conditions de pression et sur la qualité de l'air des cabines. Des valeurs limites sont ainsi définies pour l'ozone (O₃) (0,1 ou 0,25 ppmv selon l'altitude de vol), le monoxyde de carbone (CO) (50 ppmv) et le dioxyde de carbone (CO₂) (0,5%). L'apport d'air neuf doit être de 0,25 kg/minute/occupant, ce qui conduit à un renouvellement total de l'air supérieur à 20 volumes par heure (20 fois le volume de la cabine par heure). En France, la qualité de l'air des cabines n'est pas spécifiquement réglementée par le code des transports ou le code de l'aviation civile, mais les mesures de prévention des risques chimiques précisées dans le Code du travail s'appliquant, les valeurs limites d'exposition professionnelles définies pour certains polluants (article R 4412-149 et R 4412-150) doivent être respectées.

3.3.3. Sources de pollution

Les sources de pollution de la cabine d'avion sont multiples, du fait de la conception même des avions. Elles peuvent être internes à la cabine en lien avec les matériaux de construction, les matériaux constitutifs du mobilier, la préparation des repas, des défaillances électriques, la présence humaine, etc. Elles peuvent être également externes à la cabine comme par exemple une contamination du *bleed air* par l'air extérieur pollué (émissions liées au trafic aéroportuaire, émissions des autres avions, pollution atmosphérique, procédures de dégivrage, etc.) ou par de l'huile moteur ou des lubrifiants en provenance des moteurs ou

compresseurs ou bien encore par les produits de décomposition issus de leur pyrolyse (cf. Figure 1).

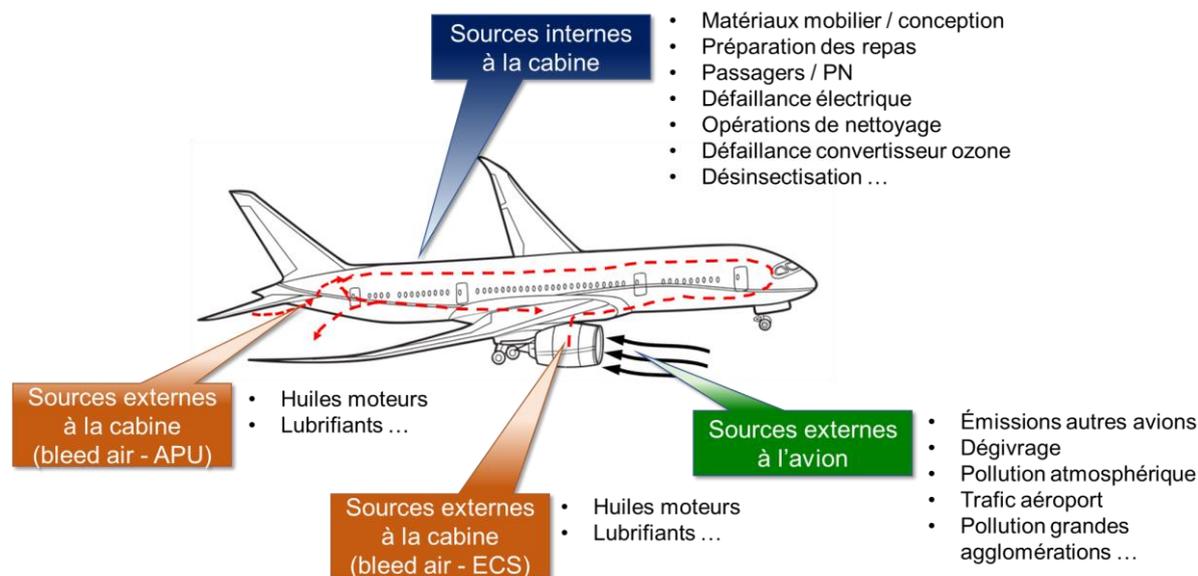


Figure 1 : Schéma des sources de pollution pouvant affecter l'air d'une cabine d'avion

Dans la littérature scientifique, le terme « *fume events* » est couramment utilisé pour désigner des épisodes d'odeurs, fumées ou brouillards accidentels à l'intérieur d'un avion généralement attribués à une contamination du *bleed air* par des huiles moteur. La désignation de ces manifestations varie selon les organismes et instances de l'aviation civile. La Direction générale de l'aviation civile (DGAC) utilise par exemple la terminologie « événement feu, fumée, odeur (FFO) ».

Pour expliquer ces événements d'odeurs, fumées ou brouillards accidentels, l'hypothèse la plus couramment étudiée est celle d'une contamination du *bleed air* par de l'huile moteur, du fluide hydraulique (sur-remplissage, fuite, joint défectueux, etc.) ou par des sous-produits issus de leur combustion (totale ou partielle) ou de leur pyrolyse. C'est ce qui a dirigé les recherches d'organophosphorés dont les tricrésylphosphates (TCP) dans l'air en lien avec leur présence dans les huiles moteurs en tant qu'additif anti-usure et lubrifiant. Néanmoins, cette hypothèse n'est pas encore objectivée par des mesures de polluants effectuées en vol de routine lors de tels événements. Des études visant à provoquer des épisodes de contamination de *bleed air* lors de vols expérimentaux mettent en évidence une augmentation de la concentration de certains polluants (particules, aldéhydes, acides organiques et TCP) dans l'air des cabines. Toutefois, ces résultats ne permettent pas de présager de l'impact de tels événements sur la qualité de l'air du fait de conditions expérimentales non transposables aux conditions réelles. Les autres sources de contamination n'ont pas fait l'objet d'investigation, hormis de rares études anciennes simulant des opérations de désinsectisation. Certaines études suggèrent de s'intéresser également au processus de dégivrage.

La revue de la littérature effectuée n'a par ailleurs pas permis d'identifier d'études permettant de comprendre les processus d'émission des polluants retrouvés dans l'air des cabines, ni les transformations physico-chimiques des polluants potentiellement émis dans l'ensemble du système d'alimentation en air, depuis les parties basse et haute pression des moteurs en passant par le système de conditionnement de l'air et les conduits, jusqu'au cockpit/cabine.

Ainsi l'origine des émanations ou odeurs inhabituelles n'étant pas établie, il convient de ne pas restreindre la problématique d'une potentielle contamination de l'air de la cabine aux *fume events*. L'expression « évènement de contamination de l'air en cabine (évènement CAC) » est plus adaptée, quelle que soit la source de cet évènement.

3.3.4. Données de concentration dans l'air des cabines d'avion

Deux revues de synthèse récentes ont dressé un état des lieux des connaissances de la pollution dans l'air des cabines d'avions (Chen *et al.* 2021 et Hayes *et al.* 2021). Elles ont été complétées par 19 références de la littérature scientifique et littérature grise apportant d'autres résultats. Seules les données issues de mesures effectuées au cours de vols non-fumeurs ont été analysées au cours de l'expertise.

Les données de concentrations sont issues de mesures réalisées en quelques points fixes de la cabine, parfois en cockpit, avec des stratégies différentes. L'objectif des mesures réalisées était soit d'identifier les composés supposés être émis lors d'évènements, soit de dresser un panorama des polluants présents dans l'air des cabines d'avion. Aucune mesure individuelle d'exposition des personnels navigants n'a été réalisée.

3.3.4.1. En l'absence d'évènement particulier

Différents types de composés ont été recherchés et mesurés dans l'air des cabines : des gaz (ozone (O₃), monoxyde de carbone (CO), etc.), des composés organiques volatils (COV), des composés organiques semi-volatils (COSV)⁹ (les organophosphorés étant les plus recherchés) et plus récemment des particules, notamment les particules ultrafines (PUF¹⁰). En raison de leurs propriétés physico-chimiques, ces polluants peuvent être inhalés, se trouver en contact avec la peau des occupants de la cabine ou être ingérés, notamment après contact main-bouche.

L'ozone est le principal polluant de l'air ambiant préoccupant à l'altitude de croisière. À haute altitude, notamment aux latitudes élevées, les teneurs élevées d'O₃ dans l'air extérieur peuvent conduire à des concentrations élevées dans la cabine. Depuis 2013, il est recommandé que des convertisseurs d'ozone soient installés afin de limiter les concentrations dans l'air intérieur des cabines. L'ozone peut également réagir avec certains COV dont les terpènes pour donner naissance notamment à des aldéhydes et des aérosols secondaires.

Concernant les **COV**, de très nombreux composés appartenant à diverses familles chimiques ont été mesurés : composés carbonylés, aromatiques, alcanes, composés halogénés, terpènes, alcools, etc.

Concernant les **particules**, quelques études rapportent la présence de PUF dans l'air des cabines d'avions. Toutefois, du fait des méthodes utilisées, les particules mesurées ne correspondent pas toujours uniquement à des PUF, mais englobent des particules de tailles pouvant aller jusqu'à 25 µm. Les concentrations en nombre ou massiques ne sont généralement pas rapportées en lien avec une distribution granulométrique permettant

⁹ Composés organiques semi-volatils qui peuvent se retrouver dans l'air sous plusieurs formes (gazeuse, particulaires - aérosol liquide - brouillard - ou solide – poussières)

¹⁰ PUF : particules de diamètre < 100 nm

d'apprécier le caractère ultra-fin de l'aérosol mesuré. Des concentrations plus élevées en nombre de particules sont mesurées lors de la traversée de nuages ou lors de turbulences.

La composition chimique de ces particules est rarement investiguée, si ce n'est la recherche **d'organophosphorés** dont le phosphate de tri-n-butyle (TnBP) et le phosphate de dibutylphényle (DBPP), ainsi que les différents isomères du tricrésylphosphate (TCP). Quelques mesures de carbone suie (BC - black carbon) et retardateurs de flamme bromés ont également été effectuées.

La plupart des campagnes de mesures en vol diffèrent entre elles en termes de conception expérimentale, d'approche analytique et de présentation des résultats.

Les études mettent en œuvre des méthodes de mesure généralement robustes pour identifier et quantifier les COV. Concernant les COSV, les méthodes de mesure ne prennent pas toujours en compte les phases particulaire et gazeuse, ce qui conduit à une sous-estimation des concentrations. Concernant les mesures de particules, la méthodologie expérimentale et la stratégie instrumentale mises en œuvre dans les études identifiées ne permettent pas de caractériser précisément en terme de granulométrie et de composition la phase particulaire en suspension dans l'air des cabines d'avions.

De manière générale, les conditions de calibration/étalonnage, les conditions de conservation et de transport des échantillons, le délai entre analyse et prélèvement, la mise en œuvre ou non de blancs de terrain, d'échantillons répliqués, la préparation des échantillons analytiques et les performances de la méthode (domaine d'application, rendements du prélèvement, sensibilité analytique) ne sont quasiment jamais documentés. Cette variabilité méthodologique pourrait expliquer en partie les différences sur les résultats obtenus. Hormis pour les mesures de concentration en COV totaux et en particules réalisées en temps réel, les durées de prélèvement ne sont pas précisées dans les études ou ne sont pas adaptées.

Ainsi, si l'identité des polluants mesurés n'est pas remise en question, la qualité des données de mesure est insuffisante pour que les gammes de concentrations et les moyennes rapportées soient considérées comme représentatives de l'ensemble des cabines d'avions. Elles sont détaillées à titre informatif dans le tableau 4 en annexe.

3.3.4.2. Lors de fume events

Seules trois études documentent des données de mesures en cabine réalisées lors de vols au cours desquels des *fume events* ont été rapportés, et leurs résultats ne permettent pas de caractériser ces événements : soit les concentrations rapportées ne sont pas différentes de celles des vols sans événement, soit les pics de particules enregistrés bien qu'associés à une odeur d'huile moteur ne permettent pas d'identifier la nature des polluants, ni leur origine.

3.3.4.3. Polluants mesurés sur les filtres HEPA et dans les conduits de ventilation

Six études se sont intéressées aux polluants présents dans les filtres HEPA, sur les conduits de ventilation et sur les surfaces intérieures des cabines telles que les sièges. Ces études mettent en évidence la présence de particules et de composés organiques semi-volatils dont les isomères du TCP et d'autres organophosphorés.

3.4. Prévention des évènements CAC et la conduite à tenir lors de ces incidents

Au niveau international, il existe des recommandations de sensibilisation et de formation à destination des personnels navigants et des techniciens d'entretien des aéronefs afin :

- de réduire les évènements CAC, en particulier les émanations d'huile ou de fluide hydraulique des moteurs ou de l'APU ;
- d'améliorer l'identification de ces événements par les personnels navigants en vol;
- de connaître la conduite à tenir en cas d'incidents.

L'expertise a identifié deux lettres « information sécurité » émises par les autorités de la sécurité aérienne française (2020) et américaine (2018) recommandant des bonnes pratiques pour la prévention des émanations ou des odeurs de fumées dans les cabines d'avions ou le poste de pilotage d'avions ainsi que pour la conduite à tenir lors de ces incidents. Ces lettres reprennent des éléments des recommandations de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) publiés en 2015.

En France, il n'existe pas de cadre réglementaire ni d'exigence spécifique concernant la contamination de l'air des cabines d'avions ni la gestion en vol ou après le vol. Des bonnes pratiques sont proposées avec l'objectif principal de limiter les sources de pollution et impliquent des responsables et acteurs différents (organismes de maintenance, exploitants, personnels navigants).

Les auditions de deux compagnies aériennes, Air France et Corsair, ont montré la difficulté qu'elles rencontrent pour traiter les problématiques d'odeurs. Cependant, elles y travaillent avec les constructeurs. Des procédures de maintenance ou des modifications des avions sont mises en œuvre et les personnels navigants sont formés et informés sur la problématique des émanations/odeurs en cabines, les conduites à tenir pendant le vol et après le vol.

3.5. Conclusions du CES

Considérant l'état des connaissances sur les effets sur la santé associés à la profession de personnel navigant, le CES Air conclut que :

- L'incidence plus élevée des cancers de la peau (épidermoïdes et mélanomes) et des leucémies chez les personnels navigants, par rapport à la population générale pourrait être expliquée par leurs expositions aux rayonnements solaire et cosmique.
- Le faible nombre d'études et la non prise en compte des facteurs de confusion potentiels ne permettent pas de conclure sur l'augmentation du risque de cancers de la prostate et du sein chez les personnels navigants par rapport à la population générale. Le CIRC a, quant à lui, conclu qu'il existait des preuves limitées chez l'humain, mais suffisantes chez l'animal et au niveau mécanistique pour montrer le lien entre les cancers du sein et de la prostate et le travail de nuit posté.
- Le faible nombre d'études concernant les maladies non cancéreuses, ne met en évidence à ce jour aucune augmentation du risque de maladies cardiovasculaires et respiratoires, de troubles psycho-sociaux et de troubles musculo-squelettiques ni d'effets sur la reproduction de la femme chez les personnels navigants.

- Le terme « Syndrome aérotoxique » introduit en 1999 n'est pas une entité nosologique consensuelle. Les symptômes rapportés par les personnels navigants sont divers et aspécifiques, ce qui rend difficile la caractérisation d'un syndrome clinique.

A l'instar du *National Research of Council (NRC)* en 2002, le CES conclut à un niveau de preuve faible d'un syndrome spécifiquement lié à l'exposition à divers polluants ou produits de décomposition qui proviennent de fuites d'huiles moteurs ou de fluides hydrauliques.

- Les recherches récentes portent sur les effets sanitaires de certains composés de l'air de la cabine, en particulier les organophosphorés. Les données actuelles ne montrent pas d'effets sanitaires probants de ces composés aux faibles concentrations dans l'air.

Considérant l'état des connaissances sur les polluants gazeux et particulaires dans l'air des cabines d'avions, le CES Air conclut que :

- De nombreux polluants gazeux et particulaires y sont présents. Cependant, compte tenu des conditions expérimentales différentes d'une étude à l'autre, les concentrations mesurées ne peuvent être considérées comme représentatives de l'ensemble des cabines d'avion et ne sont pas comparables entre elles.
- Ces données, qui n'ont pas été collectées dans un but de surveillance ni de contrôle d'exposition, ne permettent ni de caractériser l'exposition des personnels navigants, ni d'effectuer des comparaisons avec des valeurs limites ou valeurs guides existantes.
- L'expression « *fume events* » est habituellement utilisée pour désigner des émanations ou odeurs inhabituelles dont l'origine supposée est une contamination de l'air par de l'huile moteur. L'origine de ces odeurs n'étant pas établie, il convient de ne pas restreindre la problématique d'une potentielle contamination de l'air de la cabine aux *fume events*. L'expression « événement de contamination de l'air en cabine (événement CAC) » est plus adaptée, quelle que soit la source de cet événement.
- Les données disponibles sont insuffisantes pour valider les hypothèses émises pour expliquer la plupart des événements CAC et notamment la plus courante d'une contamination du *bleed air*¹¹ par des composés issus de l'huile moteur ou de sa dégradation thermique.

Le CES Air conclut également que les données sont insuffisantes pour conduire une évaluation quantitative des risques sanitaires liés à la pollution de l'air dans les cabines d'avion.

3.6. Recommandations du CES

Considérant le *corpus* de connaissances trop limité pour orienter des actions de prévention, le CES émet uniquement **des recommandations de veille scientifique et de recherche.**

¹¹ L'air de la cabine de la plupart des grands avions de transport est alimenté en vol par l'air prélevé dans les parties basse et haute pression des moteurs (*bleed air*) et, au sol, par l'air prélevé dans le groupe auxiliaire de puissance (APU).

- ❑ **Afin d'améliorer les connaissances sur la santé des personnels navigants, le CES recommande** de mettre en place des études épidémiologiques qui permettraient de documenter la morbidité et la mortalité des personnels navigants, et d'en étudier le lien avec les expositions professionnelles de cette population, tout en prenant en compte des potentiels facteurs de confusion individuels.

- ❑ **Afin d'améliorer les connaissances sur un syndrome clinique qui atteindrait spécifiquement les personnels navigants, le CES recommande:**
 - d'objectiver de manière systématique, par du personnel médical, les symptômes rapportés par les personnels navigants à l'issue d'évènements CAC,
 - de conduire des travaux sur l'identification des causes des symptômes rapportés par les personnels navigants en considérant tous les facteurs d'exposition.
 - de poursuivre les travaux sur les effets des organophosphorés, en lien avec les niveaux de concentrations mesurés en cabine, et sur le développement de biomarqueurs pour le suivi de ces effets ainsi que de l'exposition.
 - d'encourager les personnels navigants rapportant des symptômes suite à une exposition liée à un évènement CAC à consulter dans les Centres de consultation de pathologies professionnelles et environnementales (CCPPE) afin de documenter leur cas.
 - Pour mieux documenter les cas au sein du RNV3P :
 - d'introduire, au sein du thesaurus des maladies, un code spécifique pour ce syndrome afin de permettre une meilleure identification des cas au sein de la base de données,
 - d'élaborer un questionnaire destiné aux médecins des CCPPE qui permette d'identifier des symptômes et les circonstances d'exposition à la suite d'évènements CAC.

- ❑ **Afin d'améliorer les connaissances sur la qualité de l'air dans les cabines d'avions, le CES recommande :**
 - de développer une stratégie de mesures (choix des vols, conception expérimentale, prélèvements, analyse et exploitation des résultats) afin d'harmoniser les approches de caractérisation de la qualité de l'air des cabines d'avion et de caractérisation de l'exposition individuelle des personnels navigants. Cette stratégie devra notamment permettre de caractériser des évènements CAC,
 - de mieux caractériser la phase particulaire, y compris les particules ultra-fines, en nombre, masse, granulométrie et composition,
 - de considérer la phase particulaire et la phase gazeuse des COSV afin de mieux caractériser leurs concentrations.

- ❑ **Afin d'améliorer les connaissances sur les causes d'évènements de contamination de l'air des cabines, le CES recommande :**
 - de mener des études permettant d'associer des mesures en temps réel à des mesures intégrées pour identifier spécifiquement les contaminants présents. Ces mesures doivent être associées à la tenue d'un journal de bord qui permettrait de tracer et

d'horodater tout incident rapporté par le personnel navigant, en complément des *reporting* obligatoires,

- d'investiguer les différentes causes possibles des évènements de contamination de l'air de la cabine.
- d'étudier les processus qui influencent les émissions de polluants dans l'ensemble du système d'alimentation en air, des sections basse pression et haute pression, jusqu'au cockpit/cabine, en passant par le système de conditionnement d'air,
- d'identifier des traceurs appropriés pour surveiller la qualité de l'air des cabines en routine, en lien avec l'identification de sources,
- d'étudier la possibilité de contamination du système d'eau potable, quand celui-ci est pressurisé par le *bleed air*.

Le CES a identifié plusieurs projets de recherche en cours qui pourraient répondre en partie à ces recommandations :

- le projet SPACE sur la mortalité par cancers et maladies non cancéreuses, liées notamment à l'exposition au rayonnement cosmique,
- les projets AviSan et CAQIII sur la potentielle contamination du *bleed air* par des composés issus des huiles moteurs, fluides hydrauliques et de leurs produits de pyrolyse, ainsi que sur les effets de ces composés sur la santé, dont la neurotoxicité,
- les projets de la FAA et l'ASHRAE sur l'évaluation de capteurs destinés à détecter une contamination du *bleed air* par des huiles ou fluides hydrauliques.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail endosse les conclusions des experts.

Plusieurs facteurs environnementaux et conditions de travail en vol caractérisent les expositions des personnels navigants, qu'ils soient physiques, comme les rayonnements ionisants ou technologiques liés au conditionnement de l'air des cabines et à sa possible contamination ou encore organisationnels, comme le travail en horaires décalés et de nuit.

L'examen de la littérature, réalisé dans le cadre de cette expertise, permet de dresser un état des lieux des connaissances sur les effets sur la santé liés à la profession de personnels navigants et sur la qualité de l'air dans les cabines d'avion et de constater leur insuffisance pour permettre de réaliser une évaluation quantitative des risques sanitaires.

L'Agence souligne donc l'importance de poursuivre les travaux de recherche sur la profession de personnel navigant et en particulier d'étudier les facteurs de risque tels que l'exposition aux rayonnements solaire et cosmique qui serait à l'origine de l'incidence accrue de cancers et des leucémies observée dans cette population, en veillant à prendre en considération également l'ensemble des facteurs de risque pouvant concourir au développement de ces pathologies, dans une approche « polyexposition ». Elle recommande également d'améliorer les connaissances sur la qualité de l'air en cabine.

La motivation de l'expertise a pour origine les symptômes rapportés depuis plusieurs années par des personnels navigants ou des personnels de santé, regroupés sous le terme de « syndrome aérotoxique ». Ces symptômes ont pu parfois être associés à des odeurs inhabituelles / émanations ou fumées dans la cabine des appareils. Compte tenu des éléments identifiés dans la revue de littérature quant à l'origine de ces émanations, l'Anses préconise d'adopter l'expression d'évènement de contamination de l'air en cabine (CAC). L'analyse du corpus de données, conduite en intégrant les nouvelles publications sur près de 20 ans, conforte la conclusion du *National research Council* de 2002, qui associe un niveau de preuve faible à la désignation d'un syndrome spécifiquement lié à l'exposition à divers polluants ou produits de décompositions moteurs ou de fluides hydrauliques.

Si les symptômes décrits par les personnes ne sont pas mis en cause, l'agence souligne que le « syndrome aérotoxique » n'est pas à ce jour une entité nosologique consensuelle dans la mesure où les symptômes rapportés sont divers et non spécifiques, ce qui rend difficile la caractérisation d'un syndrome clinique.

Aussi, l'Agence encourage les études qui permettront d'apporter des connaissances sur les causes d'évènements de contamination de l'air des cabines et leurs conséquences sur la santé des personnels des personnels navigants. Sur ces questions, l'Agence souligne qu'elle a pu avoir connaissance de plusieurs travaux de recherche en cours, qui sont rappelés dans les recommandations de l'expertise.

L'Anses a également pu recenser de la documentation, tant au niveau national qu'international, relative à la prévention, l'identification et la conduite à tenir en cas d'évènement de type CAC.

Enfin, l'Agence souligne l'importance première d'objectiver les symptômes rapportés par les personnels navigants auprès des professionnels de santé qui peuvent être aidés en cela par les médecins experts des consultations de pathologies professionnelles et environnementales. Pour sa part, l'Anses accompagnera le Réseau national des centres de consultations du RNV3P dans l'amélioration des outils de recueil.

Pr Benoît Vallet

MOTS-CLÉS

avion, cabine, personnel navigant, hôtesse de l'air, pilote d'avion, steward, effets sur la santé, qualité de l'air, syndrome aérotoxique, évènement feux fumée,

airplane, aircraft, cabin, aircrew, flight attendant, aircraft pilot, steward, health effects, air quality, aerotoxic syndrome, fume event

CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2023). Etat des connaissances sur les effets sur la santé liés à la profession de personnels navigants et sur la qualité de l'air dans les cabines d'avion. (saisine 2019-SA-0075). Maisons-Alfort : Anses, 22 p.

ANNEXE 1

Tableau 2 : Synthèse des résultats de la revue de la littérature (jusqu'au 1^{er} juin 2023) et des monographies du CIRC (83, 2004 ; 100D & E, 2012 et 124, 2020) pour les maladies cancéreuses

Maladies	Conclusions de la revue de la littérature	Expositions étudiées dans la revue de la littérature	Conclusions Monographies CIRC	Agents cancérogènes - CIRC
Mélanome	++	Rayonnement cosmique Durée d'emploi Longueur des vols internationaux	++	Rayonnement solaire
Épidermoïde de la peau	++	Rayonnement cosmique Durée d'emploi Longueur des vols internationaux	++	Rayonnement solaire UVA
Leucémie	++	Rayonnement cosmique Durée d'emploi Longueur des vols internationaux	-	
Lymphome non hodgkinien (LNH)	+/-	Durée d'emploi	-	
Cancer de la prostate	+	Rayonnement cosmique Trouble du rythme circadien	+	Travail posté
Cancer du col de l'utérus	+/-	Durée d'emploi		
Cancer des ovaires	+/-	Durée d'emploi	-	
Cancer du sein	+	Durée d'emploi Trouble du rythme circadien	+	Travail posté
Cancer du cerveau	+/-	Durée d'emploi	-	
Cancer du poumon	+/-	Durée emploi Tabagisme passif	++	Tabagisme passif
Cancer de la thyroïde	+/-	Rayonnement cosmique Durée d'emploi	-	
Cancer colo-rectal	+/-	Durée d'emploi	-	
Cancer de la vessie	+/-	Durée d'emploi	-	
Cancer des testicules	+/-	Rayonnements ionisants et non ionisants	-	
++ : plusieurs études de bonne qualité et d'équipes différentes montrent des associations statistiquement significatives + : il existe au moins une étude de bonne qualité qui montre une association statistiquement significative +/- : les études sont contradictoires ou la puissance est insuffisante pour conclure à l'existence d'une association				

Tableau 3 : Synthèse des résultats de la revue de la littérature pour les maladies non cancéreuses

Maladies	Conclusion de la revue de la littérature	Expositions étudiées dans la revue de la littérature
Santé cardiovasculaire	+/-	Durée d'emploi
thrombose veineuse	+/-	Durée du voyage (passagers)
Santé reproductive femme		
fausse couche	+/-	Tabagisme
hyperprolactinémie	+	Travail posté
troubles menstruels	+/-	Travail posté
troubles du sommeil	+/-	Travail posté
érosions cervicales	+/-	Travail posté
avortement spontané	+	Hôtesse de l'air + passagers
naissances avant terme <37 semaines	+	Passagers
mortalité intra-utérine	+	Personnels navigants
Santé respiratoire		
asthme	+/-	Durée d'emploi et tabagisme
bronchopneumopathie chronique obstructive	+/-	Durée d'emploi
bronchite chronique	+	Durée d'emploi et tabagisme
Troubles musculo-squelettiques et troubles psycho-sociaux	+/-	Travail posté
lombalgies	+/-	Travail posté
dépression	+/-	Pilotes de ligne
++ : plusieurs études de bonne qualité et d'équipes différentes montrent des associations statistiquement significatives + : il existe au moins une étude de bonne qualité qui montre une association statistiquement significative +/- : les études sont contradictoires ou la puissance est insuffisante pour conclure à l'existence d'une association		

Tableau 4 : synthèse des concentrations mesurées dans l'air des cabines

Polluants (concentrations moyennes les plus élevées)	Études	Gamme de concentration
O ₃	21 études (1967-2021, 1092 Vols) dont 11 portant sur des vols non-fumeurs (1999-2018) rapportées par Chen et al. 2021	0 – 275 ppb
CO	9 études (1992 - 2018, 327 vols) rapportées par Chen et al. 2021	< LOD - 9,4 ppm
CO ₂	20 études (1992 - 2019, 655 vols, rapportés par Chen et al. 2021	- Concentrations lors de l'embarquement plus élevées que lors des autres phases de vol. - Concentrations en Classe affaire inférieures à celles en classe économique
NOx	2 études (1999-2002, 41 vols), rapportées par Chen et al. 2021	4,3 - 20 ppb
NO ₂	3 études (1999-2002, 37 vols) rapportées par Chen et al 2021	5,2 - 252 ppb (médiane = 12 ppb)
NO	1 étude (1999, 5 vols) rapportée par Chen et al. 2021	0,3 - 81 ppb
SO ₂	1 étude (1999, 5 vols, rapportée par Chen et al 2021)	30 µg/m ³
COV		0 à 3 µg.m ⁻³ (moyennes comprises entre 0,1 et 100 µg.m ⁻³)
		0 à 384 µg.m ⁻³ (acétone) Moyennes : 1 – 14 µg.m ⁻³
<u>Carbonylés:</u> formaldéhyde, acétaldéhyde, nonanal, hexanal, décanal, octanal, butanal, acétone		
<u>Composés aromatiques</u> <u>dont terpènes:</u> limonène, toluène, benzène et m&p xylène	28 études (1997-2021, 1136 Vols) dont 11 études sur des vols non-fumeurs (1997 – 2021, 551 Vols)	0 à 1048 µg.m ⁻³ (limonène) Moyenne : 0,5 à 24 µg.m ⁻³
<u>Halogénés :</u> trichloroéthylène (TCE), tétrachloroéthylène (PCE), 1,4- dichlorobenzène, chlorure de méthylène		0 à 304 µg.m ⁻³ (PCE) Moyennes 0,4 à 7,3 µg.m ⁻³
<u>Alcools :</u> isopropanol, menthol, 2-éthylhexanol, Ethanol		0 à 5453 µg.m ⁻³ (éthanol) Moyennes : 10 à 386 µg.m ⁻³
Organophosphorés	10 études (1998-2019, 424 vols) rapportées par Hayes et al 2021	
<u>TCP</u>	8 études, 400 vols	0 à 51,3 µg.m ⁻³ Moyennes nd à 2,9 µg.m ⁻³
Polybromés (Retardateurs de flamme)	1 étude – 59 vols (Allen et al, 2013) (2 études ont également recherché des retardateurs de flamme dans les poussières sédimentées)	Taux de détection plus élevés pour la plupart des congénères du polybromodiphényléthers (PBDE). Médiane : <0.4 ng/m ³ à 1,3 ng/m ³ Max : 9,4 à 2100 ng/m ³
Particules / particules ultrafines	17 études (1992 - 2019, 451 vols) rapportées par Hayes et al. 2021 Michaelis et al., 2021 Yu et al. (2021)	Concentration maximale en nombre : 3.10 ⁵ concentration maximale massique : 7 à 17 µg.m ⁻³
carbone suie	3 études (2017 - 2019, 52 vols) (Kim et al. (2019) Targino et al. 2017. Anh Le et al. (2019))	Concentrations plus élevées lors des phases d'embarquement et débarquement ((moyenne de 3,78 µg. ⁻³). En vol, concentrations moyennes de l'ordre de 0,2 µg. ⁻³

ANNEXE 2

Suivi des modifications de l'avis

Date	Page	Modification
11 octobre 2023		Version initiale
23 septembre 2024	3	Ajout d'un paragraphe pour expliciter dans l'avis que des corrections factuelles ont été apportées dans le rapport d'expertise sans modifications des conclusions et recommandations de l'expertise.