

## Incident grave de l'Airbus A320-214 immatriculé EC-HQJ

survenu le 17 novembre 2017

en croisière entre Genève et Barcelone

<sup>(1)</sup> Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC). Il convient d'y ajouter 1 h pour obtenir l'heure en France métropolitaine le jour de l'événement.

<b>Heure</b>	Vers 08 h 20 <sup>(1)</sup>
<b>Exploitant</b>	Vueling Airlines
<b>Nature du vol</b>	Transport commercial de passagers
<b>Personne à bord</b>	Commandant de bord (CdB) ; Officier pilote de ligne (OPL) ; 4 PNC ; 150 passagers
<b>Conséquences et dommages</b>	Incapacité partielle du commandant de bord et du copilote

### Incapacité partielle de l'équipage de conduite, déroutement d'urgence

#### 1 - DÉROULEMENT DU VOL

*Note : le déroulement du vol a été établi à partir des enregistrements radio et radar du contrôle aérien, des témoignages et des données FDR et CVR de l'avion.*

À 8 h 41, l'équipage du vol Vueling 6204, Airbus 320 immatriculé EC-HQJ au départ de l'aéroport de Genève-Cointrin (Suisse) à destination de Barcelone El Prat (Espagne), est autorisé à rouler pour la piste 05. Le vol Vueling roule derrière un Cessna Citation Excel. Les deux avions maintiennent position au point d'arrêt de la piste 05.

À 08 h 51 min 25, le Cessna Citation est autorisé à décoller.

À 08 h 51 min 32, le vol Vueling 6204 est autorisé à s'aligner. Une minute plus tard, il est autorisé à décoller. Le vent est calme.

À 8 h 56, peu après la rentrée du train d'atterrissage, des échanges ont lieu au sein de l'équipage de conduite sur l'intensité des gaz d'échappement émis par le Cessna Citation. Le CdB indique que cela lui a quasiment causé des nausées. L'OPL confirme que les odeurs étaient très intenses<sup>(2)</sup>.

À 8 h 57 min 41, passant le FL100 en montée, en contact avec l'approche de Genève, le commandant de bord demande au contrôleur des informations sur l'avion qui les précède et souhaite savoir de quel type de Cessna Citation il s'agit. Le contrôleur répond qu'il n'y a pas de trafic devant eux. Le commandant de bord répond qu'il y avait un Cessna Citation devant eux au départ et qu'il déposera un rapport à la suite d'odeurs en cockpit. L'OPL indique au CdB qu'il se sent lui aussi « *malade, intoxiqué* ».

<sup>(2)</sup> Source CVR.

<sup>(3)</sup> Flight Level  
(Niveau de vol).

<sup>(4)</sup> Son identique à  
celui de l'ouverture  
du compartiment à  
masques à oxygène  
entendu au CVR.

<sup>(5)</sup> Instrument Landing  
System (Système  
d'atterrissage aux  
instruments).

<sup>(6)</sup> Information  
extraite du FDR.

À 08 h 58 min 40, le contrôleur indique à l'équipage que l'avion qui les précédait au départ est un Cessna Citation Excel et que celui-ci est sur une autre trajectoire de départ.

À 08 h 59 min 29, le commandant de bord annonce au copilote qu'il se sent mal et lui propose de « *mettre un peu plus d'air* ».

À 8 h 59 min 40, le vol Vueling 6204 est transféré au centre de contrôle en route de Marseille. Il passe le FL150<sup>(3)</sup> en montée vers le FL290.

À 09 h 00 min 08, le chef de cabine, appelé par l'équipage, entre dans le cockpit. Questionné par l'équipage de conduite, il indique qu'il n'a rien senti et que tout va bien en cabine. L'OPL indique qu'il a été très incommodé par l'avion situé devant au roulage. Le commandant de bord demande ensuite au chef de cabine de laisser la porte du cockpit ouverte et de demander aux PNC de garder un œil sur lui-même et l'OPL.

À 9 h 04 min 51, le CdB indique à l'OPL qu'il commence à avoir des nausées. L'OPL propose au CdB de prendre « *un peu plus d'air* » et déclenche le déploiement des masques à oxygène<sup>(4)</sup>. Le CdB utilise le masque.

Des échanges entre le CdB et l'OPL ainsi que des mouvements de siège identifiés sur le CVR semblent indiquer que l'OPL se rend aux toilettes. À 09 h 06 min 50, le CdB demande à l'OPL, de retour en poste, comment il se sent. L'OPL répond qu'il va un peu mieux et qu'il était vraiment nauséux.

À 9 h 07, l'équipage de conduite discute du choix d'un aérodrome de dégagement en cas d'aggravation de la situation. Il choisit l'aérodrome de Marseille-Provence. À 09 h 12 min 33, l'OPL met également le masque à oxygène. Les deux membres d'équipage porteront leur masque jusqu'à la fin du vol.

À 9 h 13 min 36, stable au FL290, le commandant de bord annonce « *PAN-PAN* » et demande à se dérouter vers l'aéroport de Marseille-Provence en précisant qu'il s'agit d'une incapacité de l'équipage. La piste 31 est en service à Marseille.

À 9 h 17, l'équipage, demande s'il est possible d'atterrir en piste 13. La situation météorologique est CAVOK, vent calme. Cette demande leur est accordée par le contrôle aérien trois minutes plus tard. Le vol est alors guidé pour une approche ILS<sup>(5)</sup> piste 13L avec un léger rallongement de trajectoire, demandé par l'équipage afin d'intercepter l'ILS de façon optimale.

À 9 h 30, en cours d'interception ILS, le CdB et l'OPL discutent de leur état respectif et indiquent qu'ils se sentent tous les deux un peu mieux. Ils gardent les masques à oxygène. L'approche est effectuée sous pilote automatique. Celui-ci est déconnecté à une hauteur de 195 ft. La vitesse est alors de 135 kt ce qui correspond à la vitesse cible Vapp<sup>(6)</sup>. L'atterrissage a lieu à 9 h 36, sans événement particulier.

L'équipage de conduite est pris en charge à son arrivée au parking et emmené à l'hôpital. Après un bilan sanguin et une courte surveillance, il en ressort deux heures plus tard. Des nausées et vertiges, alternant avec des périodes d'accalmie, ont néanmoins persisté pendant plusieurs jours.

## 2 - RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

### 2.1 Témoignages de l'équipage de conduite

<sup>(7)</sup> Auxiliary Power Unit (Groupe auxiliaire de puissance). Destiné à produire de l'énergie à bord des avions pour alimenter au sol les différents systèmes de bord (tension électrique, pressions pneumatique et hydraulique, climatisation) quand les moteurs principaux sont à l'arrêt. L'APU de l'A320 est positionné à l'arrière de l'avion, dans le cône de queue, et alimenté par le kérosène des réservoirs de l'avion.

<sup>(8)</sup> Soit environ 70 m.

<sup>(9)</sup> Air Traffic Control (Contrôle de la circulation aérienne).

Au début du vol, le commandant de bord (CdB) est PF, le copilote (OPL) est PM. L'équipage indique que l'APU<sup>(7)</sup> a été démarré une dizaine de minutes avant le départ. Au point d'attente, l'avion est resté quelques instants à l'arrêt derrière un Cessna Citation de Netjets, à une distance correspondant à environ deux fois la longueur de leur avion<sup>(8)</sup>. L'équipage a alors senti une forte odeur de gaz d'échappement assez âcre. Cela leur a semblé initialement assez similaire aux odeurs que l'on peut parfois sentir au roulage mais l'odeur s'est amplifiée, devenant très désagréable, intense et de nature acide. L'équipage indique qu'il a, dès cet instant, ressenti des picotements du nez et de la gorge et a ouvert les aérateurs. L'odeur a disparu dès que le Cessna Citation s'est aligné. L'équipage a alors convenu que l'odeur provenait de cet avion. Cette odeur n'était pas accompagnée de fumées à bord. L'équipage a appelé le chef de cabine en lui demandant s'il percevait lui aussi cette odeur et s'il se sentait bien. Celui-ci a répondu que tout allait bien pour lui ainsi qu'en cabine passagers.

Passant la montée, le CdB a été pris de vertiges. Il a alors demandé au chef de cabine de rester en cockpit pour des raisons de sécurité. L'équipage a décidé d'arrêter la montée au FL290 afin de garder l'altitude cabine à un niveau faible. En arrivant au FL290, l'OPL a commencé à ressentir à son tour des vertiges et à être sujet à des nausées ainsi qu'à des envies urgentes d'uriner. Ceci l'a amené à quitter le cockpit pour aller aux toilettes. L'état du commandant de bord, seul en cockpit avec le chef de cabine, a empiré. Il a alors mis le masque à oxygène et a décidé de se dérouter vers l'aéroport de Marseille-Provence, qui était proche, en annonçant le problème à l'ATC<sup>(9)</sup> et en donnant des instructions au chef de cabine au cas où son état s'aggraverait. L'OPL est revenu en cockpit en disant qu'il se sentait mal et a également mis le masque à oxygène.

Durant la descente, l'ATC leur a demandé d'afficher 7700 au transpondeur. L'ATC les a informés que la piste en service était la piste 31 avec vent calme. Compte tenu de leur état respectif ils ont demandé à effectuer une approche sur la piste 13, ce qui a été accepté. Ils ont alors tous deux effectué un bilan mutuel de leur état. L'état de l'OPL s'améliorant avec l'oxygène, le commandant de bord a souhaité un transfert de tâches et lui a demandé de prendre les commandes de l'avion (PF), gérant pour sa part les communications (PM).

L'atterrissage s'est effectué normalement. Après avoir dégagé la piste, il n'y avait aucun véhicule d'accompagnement (Flyco) pour les guider. À l'arrivée au parking, les pompiers étaient présents. Les nausées se sont poursuivies malgré l'ouverture des fenêtres latérales du cockpit. L'équipage a été emmené à l'hôpital d'où il est ressorti deux heures plus tard après la réalisation d'un bilan sanguin qui s'est avéré « normal », ne montrant aucun signe d'intoxication au monoxyde de carbone. Aucune autre analyse toxicologique n'a été pratiquée et les échantillons prélevés n'ont pas été conservés. Des nausées et vertiges, alternant avec des périodes d'accalmie, ont néanmoins persisté pendant plusieurs jours.

<sup>(10)</sup> Causes possibles (extraits de la tâche TSM exclusivement rédigée en anglais)

- APU
- ENG 1, ENG 2
- Bird strike
- PACK 1, PACK 2
- Leakage in the hydraulic system
- De-icing fluid ingestion
- Cabin items (coffee maker, hot plate, oven, dry ice, toilet, ballast unit, reading light, extract fan, heated floor panel, light bulb)
- Cockpit items (rain repellent fluid, reading light, extract fan, avionics blower, MCDU, GPCU, TRU, RMP, ELAC, light bulb, FCU, VHF1)
- Chlorine odors.

<sup>(11)</sup> Le détecteur de particules ne détecte pas un défaut d'étanchéité des joints du circuit d'huile. Son déclenchement n'est pas en rapport avec l'incident.

## 2.2 Maintien de l'avion à Marseille pour recherche de la source d'intoxication

L'avion est resté au sol à l'aéroport afin d'effectuer les opérations de maintenance suivantes :

- TSM Task 05-50-00-810-831-A - Identification de la cause d'odeurs ou fumées cabine<sup>(10)</sup>.
- Essais moteurs.

Aucune anomalie n'a été détectée.

Les vols effectués dans les mois suivants n'ont fait l'objet d'aucun incident technique particulier ni de compte-rendu relatif à des odeurs suspectes à bord.

## 2.3 Essais et recherches

L'enquête s'est orientée sur diverses hypothèses de contamination de l'air en cabine. L'hypothèse d'une éventuelle intoxication alimentaire a été écartée en raison d'une part de l'apparition de symptômes survenus à la suite d'odeurs en cockpit clairement mentionnées par l'équipage sur le CVR et d'autre part de l'absence de manifestations digestives.

### 2.3.1 Visite d'entretien des 20 mois sur l'EC-HQJ

La dernière visite d'entretien, correspondant à la visite des 20 mois, a eu lieu en novembre 2017, quelques jours après l'incident. À cette occasion, des recherches complémentaires ont été effectuées afin de localiser l'origine des odeurs. Une attention particulière a été portée sur l'étanchéité des joints qui permettent de confiner les lubrifiants des pièces tournantes des deux moteurs et de l'APU.

Aucune anomalie n'a été décelée.

### 2.3.2 Recherches sur l'avion situé devant le vol Vueling au point d'arrêt

L'avion qui précédait le vol Vueling au roulage et au point d'attente était un Cessna 560 Citation XLS opérant pour Netjets. Des recherches ont été entreprises au niveau de l'avion et des entretiens ont été conduits avec l'équipage.

L'avion est entré en maintenance le 16 août 2017 pour une grande visite qui a duré jusqu'au 29 septembre 2017. À cette occasion, le moteur droit a été déposé et a fait l'objet d'une opération de maintenance programmée, effectuée par le constructeur de moteurs Pratt and Whitney. Le moteur a été approuvé pour remise en service le 15 septembre 2017 puis réinstallé sur l'avion. L'avion a ensuite volé 53 heures jusqu'au jour de l'incident.

Après cette période de maintenance, un seul événement a été noté lors d'une visite pré-vol effectuée le 19 novembre 2017, soit deux jours après l'incident. L'équipage a remarqué que le détecteur de particules métalliques du circuit d'huile du moteur gauche s'était déclenché. À la suite de l'inscription de cette observation sur l'Aircraft Technical Log, le filtre à huile a été changé et un échantillon d'huile soumis à analyse. L'analyse n'a révélé aucune anomalie<sup>(11)</sup>.

<sup>(12)</sup> Minimum Equipment List (Liste minimale d'équipement).

<sup>(13)</sup> Aircraft Technical Log open item.

Le jour de l'incident, l'avion ne volait pas sous conditions spéciales (sous MEL<sup>(12)</sup> ou avec un item technique ouvert<sup>(13)</sup>).

À la suite de l'incident, une recherche de fuite d'huile potentielle a été demandée à Netjets par le BEA. Aucune fuite n'a été détectée.

Les deux membres d'équipage n'ont quant à eux rien remarqué d'anormal lors du roulage et décollage au départ de Genève-Cointrin ce 17 novembre 2017.

### **2.3.3 Contamination exogène de l'air du poste de pilotage**

#### **2.3.3.1 Généralités**

L'air respiré à bord des avions est en partie de l'air prélevé au niveau des compresseurs des réacteurs ou de l'APU. Il est appelé bleed air ou air de prélèvement. Cet air, non filtré, est ensuite amené à une pression adaptée aux besoins de la cabine, puis refroidi par les PACKs et enfin mélangé dans la mixer unit à de l'air recirculé provenant de la cabine après filtrage.

Sur A320, la proportion bleed air / air recirculé cabine est d'environ 60 % / 40 % avec les PACKs en position normale. Cette proportion est très peu impactée par la température sélectionnée. Elle est identique pour le cockpit et pour la cabine. En revanche, la provenance du bleed air est différente en cockpit et en cabine : lorsque la cross bleed valve est fermée, et avec les deux PACKs en fonctionnement (comme au moment de l'événement), l'air en cockpit provient à 60 % du PACK 1 (moteur gauche) et à 40 % de l'air recirculé de la cabine, tandis que l'air de la cabine provient à 60 % des PACKs 1 et 2 (avec une plus grande proportion provenant du PACK 2), et à 40 % de l'air recirculé en cabine. De plus, toutes proportions égales par ailleurs, le débit d'air par occupant est légèrement plus élevé dans le cockpit que dans la cabine : au sol ou en croisière, en conditions standard (Delta ISA 0) et avec les PACKs en régime normal, l'air dans le cockpit (bleed air du PACK 1 + air recirculé) est renouvelé toutes les minutes environ, tandis que l'air dans la cabine (bleed air des PACKs 1 et 2 + air recirculé) est renouvelé toutes les deux à trois minutes environ.

#### **2.3.3.2 Contamination par des gaz d'échappement**

L'écoute du CVR a montré qu'il y avait une concomitance entre les odeurs perçues par l'équipage et la présence du Cessna Citation derrière lequel il se situait au roulage et au point d'attente. Ceci a conduit le BEA à s'intéresser à l'hypothèse d'une intoxication de l'équipage par les gaz d'échappement du Cessna Citation.

L'analyse de l'enregistrement du radar sol de Genève montre que le vol Vueling est resté à l'arrêt, au point d'attente, derrière le Cessna Citation, dans l'axe de celui-ci, de 8 h 46 min 33 à 8 h 50 min 14, soit près de quatre minutes.

L'axe central des réacteurs du Cessna Citation, situés à l'arrière du fuselage et accolés à celui-ci, et de ceux de l'A320 est approximativement à une hauteur de deux mètres par rapport au sol. Le vent au sol était calme au moment de l'événement.

Ces conditions étaient propices à la formation d'une concentration de gaz d'échappement à l'avant de l'Airbus. Les gaz d'échappement auraient ainsi pu être ingérés par les réacteurs de l'A320 et davantage concentrés au niveau du poste de pilotage (probablement en raison d'une ingestion plus importante par le moteur gauche).

Lors de la combustion de kérosène, les substances émises par les moteurs d'avions sont composées de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), d'eau (H<sub>2</sub>O), de diazote (N<sub>2</sub>), d'oxygène (O<sub>2</sub>) et de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). Dans certaines conditions de combustion, des oxydes d'azote NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>), du monoxyde de carbone (CO), des hydrocarbures imbrûlés (HC) et des composés organiques volatils (COV) sont également très souvent émis<sup>(14)</sup>.

Les NO<sub>x</sub> ont la particularité d'avoir une odeur âcre et le SO<sub>2</sub> d'avoir pour sa part une odeur « piquante ». L'équipage a mentionné, dans ses témoignages, des odeurs perçues comme âcres et acides.

Les composés chimiques responsables des odeurs perçues par l'équipage ne sont cependant pas nécessairement ceux qui ont pu être à l'origine des symptômes ressentis. En particulier, le monoxyde de carbone, dont les effets sont compatibles avec ceux observés à bord et qui peuvent aller jusqu'à entraîner une incapacité de l'équipage, n'a pas d'odeur.

Le résultat négatif de l'analyse pratiquée à l'hôpital pourrait s'expliquer par le délai écoulé avant l'analyse (plus d'une heure) et par l'administration d'oxygène via l'utilisation des masques, ce qui a pu avoir pour effet d'éliminer ou de réduire considérablement le taux de monoxyde de carbone dans le sang.

### **2.3.3.3 Contamination par du liquide de dégivrage**

L'air à bord peut également être pollué lors des procédures de dégivrage des avions. Des éclaboussures du produit de dégivrage, à base de glycol, peuvent pénétrer soit dans l'entrée d'air du réacteur soit dans celle de l'APU et se trouvent alors chauffées et dirigées par l'intermédiaire du système bleed air dans la cabine. Dans le cas présent, aucun dégivrage n'a eu lieu et cette dernière hypothèse n'a donc pas été retenue par l'enquête.

## **2.3.4 Contamination endogène de l'air à bord des avions**

### **2.3.4.1 Généralités**

La contamination de l'air de la cabine par des produits de dégradation de fluides hydrauliques et autres particules fait l'objet d'études internationales.

Dans le moteur, des joints d'étanchéité permettent de confiner les lubrifiants des pièces tournantes. Il est couramment admis qu'en cas d'usure ou de détérioration de ces joints, des fuites d'huile peuvent se produire et de petites quantités d'huile peuvent se mélanger à l'air échauffé par la compression. Une partie de cette huile pyrolysée peut alors passer par le système de pressurisation et contaminer l'habitacle. L'importance des fuites d'huile est variable en fonction de l'état des joints, de l'entretien du réacteur, des changements de régime brutaux et dépend de la conception du réacteur.

L'huile moteur contient entre autres des TCP (tri crésyl phosphates) à hauteur de 3 % environ. En cas de pyrolyse de l'huile, une petite proportion de ces TCP peut se transformer en ToCP (tri ortho- crésyl phosphate), ortho-isomère du TCP et composé organo-phosphoré neurotoxique. Bien qu'il n'existe pas de consensus scientifique en la matière, certaines études sur la qualité de l'air en cabine suggèrent que les ToCP pourraient être à l'origine de divers symptômes tels que ceux rencontrés par l'équipage.

Lors d'une telle contamination de l'air à bord, une odeur caractéristique de « *chaussette mouillée* » est souvent perceptible. Elle peut être accompagnée d'un dégagement de fumée ou d'une opacification de l'air ambiant. Cependant, l'odeur n'est parfois pas perceptible et la reconnaissance d'un tel évènement ne pourra se faire qu'au travers de la détection des symptômes associés.

Le BEA s'est ainsi intéressé à l'éventualité d'une contamination par TCP ou ToCP hypothèse déjà envisagée dans le cadre d'enquêtes sur des cas d'incapacité partielle des équipages ainsi que dans des études sur le sujet.

#### **2.3.4.2 Prélèvements de filtres et de plastiques**

Le ToCP a comme propriété de se fixer sur certains plastiques. Il est également possible d'en retrouver des traces dans les filtres. Le BEA a prélevé certains éléments de l'avion avant qu'il ne retourne à Barcelone, afin d'y rechercher la présence potentielle de traces de ce produit.

Ainsi ont été prélevés les filtres avionique, les filtres de conditionnement d'air, les pare-soleils et une tablette de siège du poste de pilotage.

Les analyses, conduites par le laboratoire indépendant INERIS, se sont révélées négatives. Le ToCP n'a été détecté dans aucun échantillon.

#### **2.3.4.3 Prélèvements de cheveux sur l'équipage**

##### *2.3.4.3.1 Contexte*

À la fin du vol, l'équipage de conduite a été pris en charge par le dispositif aéroportuaire et sanitaire de secours à personnes du département des Bouches du Rhône. Ce dispositif est destiné à la prise en charge des détresses et menaces sur l'intégrité physique et psychique des personnes, mais ne prévoit pas d'enquêtes médicales poussées sur les causes (enquêtes étiologiques), sauf si une telle enquête est susceptible d'influer sur la thérapeutique immédiate. En particulier, seuls les actes qui contribuent directement aux soins sont réalisés et les échantillons biologiques prélevés ne sont pas conservés. Cette situation n'a pas permis de recueillir des données potentiellement utiles à l'enquête de sécurité.

##### *2.3.4.3.2 Principe*

L'équipage a quitté l'établissement de santé avant l'intervention de l'équipe d'enquête et les délais sont devenus trop longs pour espérer raisonnablement que des substances toxiques éventuelles aient pu persister dans les organismes des pilotes. Le BEA a alors décidé de mettre en œuvre des prélèvements de cheveux, seul matériel biologique (appelé matrice biologique) susceptible d'avoir fixé une éventuelle substance lipophile circulant au moment d'une contamination présumée au cours du vol et pouvant la véhiculer au cours de sa pousse pendant plusieurs semaines ou mois, c'est à dire jusqu'à la coupe de la zone concernée.

#### 2.3.4.3 Aspects techniques du prélèvement

Il s'agit de recueillir la zone potentiellement contaminée une fois que la pousse du cheveu lui a permis de sortir de l'épaisseur du cuir chevelu, avec une marge de « *sécurité* » suffisante pour pouvoir distinguer une portion de cheveux « *avant* » et « *après* » événement, donc potentiellement vierge de toute substance suspectée. Le temps optimal de pousse avant prélèvement se situe entre 15 jours et un mois. Le prélèvement a eu lieu le 22 décembre 2017 dans les locaux de Vueling à Barcelone sur les quatre membres d'équipage de cabine et les deux membres d'équipage de conduite.

Ils ont accepté ce prélèvement après avoir reçu la garantie du BEA de l'entière confidentialité des résultats. Pour empêcher toute autre exploitation nominative, les échantillons ont été pseudonymisés.

La technique d'analyse utilisée est la chromatographie liquide couplée à une détection par spectrométrie dite « *quadropole temps de vol* » (UPLC/QTOF<sup>(15)</sup>). Cette technique « *ultra-performante* » constitue la nouvelle technique de référence en toxicologie analytique. La préparation de l'échantillon est simplifiée car indépendante des produits recherchés. La méthode ne cible pas des produits précis mais permet de déterminer le contenu global (spectres) d'un échantillon ; ainsi, il est possible de découvrir des molécules inattendues, voire inconnues. A posteriori, des comparaisons de spectres peuvent être réalisées sans recours à l'échantillon initial.

#### 2.3.4.3.4 Résultat

Les analyses n'ont pas mis en évidence de substance dans des quantités correspondant à une exposition significative ponctuelle en rapport avec l'événement. Des polluants ont été retrouvés, comme par exemple le TCP, mais à des taux correspondant à des phénomènes de pollution environnementale. Aucun pic d'un de ces polluants n'a été observé sur toute la longueur des cheveux analysés. En particulier, il n'a pas été constaté de différence entre les quantités observées sur les sections de cheveux « *avant événement* » et celles « *après événement* ». Une possible contamination de l'équipage par du TCP ou du ToCP est donc exclue. Néanmoins ce résultat ne permet pas d'écarter toute hypothèse de contamination de l'équipage par une substance dont les effets seraient similaires à ceux rencontrés et qui disparaîtrait rapidement.

#### 2.3.5 Récits des équipages

Dans des situations exploratoires comme ici, où l'agent et le mécanisme d'action demeurent non identifiés, les critères, grilles et questionnaires a priori peuvent s'avérer insuffisants pour cerner le phénomène. C'est pourquoi le BEA a également recueilli sous la forme d'un récit libre dans la langue de leur choix, les déclarations de l'équipage et, en particulier, leur vécu et leur ressenti. Loin des documents formatés de type ASR, ce procédé permet l'émergence d'informations que les comptes rendus « *classiques* » peuvent conduire à omettre. Recoupées avec celles de l'enregistreur de conversations, ces informations peuvent permettre de révéler une cohérence ou des écarts révélateurs.

<sup>(15)</sup> Ultra Performance Liquid Chromatography – Quadropole Time-Of-Flight.



<sup>(16)</sup> Bundesstelle für  
Flugunfalluntersuchung  
(Organisme d'enquête de  
sécurité d'Allemagne).

<sup>(17)</sup> Etude disponible  
sur le site du BFU :  
[www.bfu-web.de/  
EN/Publications/  
Safety Study/Studies](http://www.bfu-web.de/EN/Publications/Safety%20Study/Studies)

<sup>(18)</sup> Civil Aviation  
Authority United  
Kingdom (Autorité  
du Royaume-Uni  
en charge de  
l'Aviation civile).

### 3 - ÉTUDES MENÉES SUR LA QUALITÉ DE L'AIR EN CABINE

#### 3.1 Étude menée par le BFU<sup>(16)</sup> (Allemagne)

Le BFU a publié en mai 2014, une étude sur des incidents notifiés par les équipages entre 2006 et 2013 en relation avec la qualité de l'air en cabine<sup>(17)</sup>. Cette étude a porté sur l'examen de 663 événements liés à des cas de fumées, vapeurs ou odeurs à bord, parmi lesquels 180 d'entre eux ont eu une incidence sur la santé de l'équipage. Selon cette étude, aucun cas n'a eu d'incidence significative sur la sécurité des vols.

Le BFU a émis quatre recommandations de sécurité. Elles concernent :

- l'amélioration de l'identification des contaminants de l'air cabine et des moyens de lutte contre ceux présentant des dangers potentiels sur la santé ;
- une standardisation des procédures de notification ;
- l'amélioration de la démonstration de conformité de la qualité de l'air cabine pendant le processus de certification des avions de transport commercial ;
- l'évaluation, par une institution qualifiée, d'une relation potentielle entre les « *fumes events* » et les impacts à long terme sur la santé.

#### 3.2 Statistiques établies par la CAA UK<sup>(18)</sup>

La CAA UK a effectué des statistiques portant sur 1 672 événements feux/fumées/odeurs notifiés par les compagnies britanniques entre le 01/12/2014 et le 30/11/2016. Ceci représente 3 % de la totalité des notifications reçues par la CAA UK sur la même période.

L'examen de ces notifications montre que :

- 5 % des événements (soit 82) seraient liés à l'engine bleed air.
- 10 % des événements ont fait l'objet de recherches techniques au sol. Aucune cause relative à l'avion n'a pu être identifiée.
- 36 % des comptes rendus fournis par les compagnies n'indiquaient pas de réelles conclusions.

La CAA mentionne que de tels incidents sont transitoires et qu'il est très difficile d'en déterminer l'origine a posteriori. Elle précise que les sources de contamination de l'air sont variées et peuvent être de diverses origines : nourriture, produits de nettoyage, toilettes, etc.

#### 3.3 Études et recherches menées par l'AESA

L'AESA consacre une attention soutenue au sujet de la qualité de l'air en cabine et cockpit et a entrepris des recherches pour mieux comprendre toutes les facettes de ce sujet y compris les aspects santé et sécurité des vols. L'AESA estime que les recherches et les revues scientifiques menées sur la qualité de l'air en cabine et cockpit au cours des dernières décennies ont conclu que celle-ci est similaire, voire meilleure, à la qualité de l'air d'environnements intérieurs normaux (bureaux, écoles, jardins d'enfants ou habitations). De plus, à ce jour, aucune preuve scientifique n'a permis d'établir un lien de causalité entre l'exposition à des contaminants en cabine ou en cockpit et les symptômes de santé signalés. Par conséquent, l'AESA n'a pas identifié de préoccupations qui justifieraient d'imposer des modifications générales de conception ou de modifier les spécifications de certification des produits. Cependant l'agence continue d'étudier la composition de l'air de la cabine et ses implications potentielles pour la santé et la sécurité.

L'AESA a ordonné deux études qui ont été lancées en 2014 et 2015 :

- ❑ la première étude visait à définir une méthode de mesure de la contamination de l'air en cabine et à effectuer un certain nombre de mesures sur les vols commerciaux ;

Après avoir défini des méthodes de mesure des contaminants atmosphériques adéquates et fiables pour le cockpit et la cabine passagers, des mesures en vol ont été effectuées sur un certain nombre de vols commerciaux.

Au total, 69 vols de mesure ont été effectués entre juillet 2015 et juin 2016 sur 8 types de configurations avion / moteur. Ces vols se décomposent en 61 sur avions équipés de systèmes de prélèvement d'air moteur (« *bleed air system* ») et 8 sur Boeing 787 sans prélèvement d'air moteur. Pour tous les vols, un équipement de mesure a été installé dans le cockpit et dans la cabine. Une attention particulière a été accordée aux organophosphates, en particulier les tri-crésylphosphates (TCP) avec l'utilisation de techniques d'analyse à haute sensibilité.

Les résultats montrent que la qualité de l'air de la cabine / du cockpit est similaire ou meilleure que celle observée dans les environnements intérieurs normaux. Aucune limite d'exposition professionnelle n'a été dépassée.

- ❑ la seconde étude visait à étudier la toxicité de la contamination par l'huile moteur via le « *bleed air system* » de l'avion afin de soutenir l'analyse des résultats des mesures en vol.

Cette étude a caractérisé la composition chimique de certaines huiles de turbomachines d'avion de transport (y compris les produits de dégradation par pyrolyse) et les effets toxiques des composés chimiques pouvant être libérés dans l'air de la cabine ou du cockpit. Deux marques d'huile ont été utilisées dans cette étude et des échantillons d'huile neufs et usagés ont été analysés.

L'étude a conclu que des produits neuro-actifs sont présents, mais que leur concentration en présence d'une barrière pulmonaire intacte est trop faible pour être une préoccupation majeure pour la fonction neuronale. Le TCP était présent dans les huiles analysées, mais aucun ortho-isomère n'a pu être détecté. Enfin, l'analyse du facteur de variabilité de la sensibilité humaine a montré que la voie métabolique complète et la contribution de la variabilité interindividuelle dans les enzymes métaboliques sont encore largement inconnues pour la majorité des produits chimiques industriels, y compris les contaminants de l'air de cabine.

Les rapports finaux de ces études ont été publiés le 23 mars 2017<sup>(19)</sup>.

Des recherches supplémentaires ont été lancées par la Commission Européenne avec le soutien technique de l'AESA. Elles prennent en compte les résultats et les recommandations de deux études ci-dessus pour développer une compréhension globale de la qualité de l'air du cockpit et de la cabine, avec un accent particulier sur les incidents de contamination par l'huile moteur. Cette étude (« *FACTS* ») a pris fin en décembre 2019 et certaines informations et documents y afférant sont disponibles sur le site Internet dédié<sup>(20)</sup> dans l'attente de la diffusion du rapport final courant 2020.

<sup>(19)</sup> Rapports finaux disponibles sous :  
<https://www.easa.europa.eu/newsroom-and-events/press-releases/easa-publishes-two-studies-cabin-air-quality>

<sup>(20)</sup> <https://facts.aero/>

<sup>(21)</sup> Voir note  
n° 10 page 4.

<sup>(22)</sup> Réf. : ISI  
21.00.00139.

### 3.4 Études et recherches effectuées par Airbus

Le constructeur Airbus utilise l'expérience en service, autrement dit les informations rapportées par les compagnies en cas d'événement « *fumées, odeurs, vapeurs fumée* », dans le cadre de l'activité de support quotidien de service après-vente Airbus pour établir ou améliorer les bonnes pratiques ou les procédures de diagnostic. Les sources conduisant à ce type d'événement sont variées et peuvent être internes ou externes à l'avion et de nature transitoire<sup>(21)</sup>.

Les bonnes pratiques ou les procédures de diagnostic aident les équipes de maintenance de l'opérateur à minimiser le risque de répétition ou d'aggravation de ce type d'événement lors des vols suivants. Ces bonnes pratiques ont été diffusées en 2019 par l'intermédiaire d'une note d'information « *In-Service Information*<sup>(22)</sup> ».

Des solutions techniques diminuant le risque de dégradation de la qualité de l'air cabine par certaines sources identifiées à la suite de l'analyse de l'expérience en service sont disponibles et communiquées aux opérateurs par l'intermédiaire de la « *In-Service Information* ». Cette note d'information permet d'aider les opérateurs à traiter plus efficacement les événements « *fumée, odeurs, vapeurs fumée* ».

Des solutions techniques basées sur la filtration de l'air et des capteurs sont aussi à l'étude ou en développement pour diminuer les cas de dégradation de la qualité de l'air cabine par d'autres sources identifiées lors de l'analyse de l'expérience en service.

Airbus a indiqué au BEA qu'en tant que membre actif de comités scientifiques normatifs relatifs à la qualité de l'air en cabine, il examine et soutient en collaboration avec les autorités de l'aviation civile, l'industrie et des organismes scientifiques, des études visant à améliorer la connaissance des impacts potentiels de la décomposition thermique des huiles moteurs, fluides hydrauliques ou liquides antigel sur la qualité de l'air en cabine.

## 4 - CONCLUSIONS

À l'issue de la phase de roulage et d'attente, effectuée derrière un Cessna Citation, les pilotes de l'Airbus A320 exploité par Vueling se sont plaints d'une odeur désagréable et d'irritations. Lors de la montée initiale, ils ont ressenti des troubles entraînant une incapacité partielle. Face à cette incapacité partielle, l'équipage a alors demandé la supervision par un PNC et déployé les masques à oxygène, ce qui lui a permis d'effectuer un déroutement et un atterrissage sans autre incident.

Malgré le large spectre des actions entreprises, l'enquête n'a pas permis d'identifier factuellement l'origine des symptômes et des malaises rencontrés par l'équipage de conduite. L'hypothèse d'une inhalation excessive de monoxyde de carbone, contenu dans les gaz d'échappement, provenant du Cessna Citation se trouvant devant l'A320, est compatible avec les informations recueillies et peut expliquer les symptômes observés (vertiges et nausées). Des composés d'oxydes d'azote et d'oxydes de soufre présents dans les gaz d'échappement ont également pu contribuer aux odeurs âcres et irritantes ressenties lors du roulage. On ne peut néanmoins exclure une intoxication de l'équipage par une autre substance, qui a pu soit disparaître rapidement soit qui n'a pas été spécifiquement recherchée dans les éléments prélevés sur l'avion car non identifiée à ce jour y compris lors des études les plus récentes.

La recherche de toxiques sur les cheveux a été réalisée au moyen de techniques innovantes actuellement les plus performantes. Le BEA émet l'hypothèse que le recours à ces techniques sur des matrices comme la salive, le sang ou l'urine, prélevées dans des délais les plus brefs après les symptômes, en particulier au plus tôt après l'atterrissage, est susceptible d'augmenter les chances de détecter une plus large gamme de substances potentiellement toxiques.

Une enquête de sécurité sur une incapacité de l'équipage de conduite par inhalation de produits toxiques peut apporter des informations en cherchant notamment à faire le lien entre la présence de composés chimiques et les symptômes rapportés par les membres d'équipage. Cette action est complémentaire aux autres axes d'études et de recherches qui peuvent être menées par d'autres organismes.

Les événements sur lesquels engager des enquêtes de sécurité doivent être ciblés afin d'optimiser l'utilisation de moyens d'enquête conséquents. Les critères d'engagement devraient intégrer la saillance des symptômes et l'accessibilité supposée des données factuelles.

## 5 - ENSEIGNEMENT DE SÉCURITÉ

Compte tenu du besoin de collecte précoce, auprès des membres de l'équipage, d'échantillons biologiques utiles à la démarche d'enquête de sécurité, l'action des autorités d'enquête ne peut être entreprise de manière isolée.

Ainsi, la mise en œuvre d'accords locaux préalables entre exploitants d'aéronefs, autorités aéroportuaires et structures médicales d'urgences présentes sur les aéroports dont le niveau de trafic le justifie, serait de nature à faciliter la réalisation d'examen médicaux à vocation étiologique à la suite immédiate d'incidents liés à la qualité de l'air en cabine.

Pour être efficace, ce type de contribution devrait être anticipé et préparé. À titre d'exemple, les exploitants et les représentants de leurs personnels navigants, notamment de leurs pilotes, pourraient établir des accords de manière à garantir des conditions de prélèvement acceptables par tous. De plus, les synergies possibles avec des structures de santé « *péri-aéroportuaires* », vers lesquelles les équipages peuvent être dirigés, pourraient être étudiées.

Les événements ne faisant pas l'objet d'une enquête de sécurité peuvent faire l'objet de démarches identiques à l'initiative des exploitants aériens ou des autorités de surveillance.