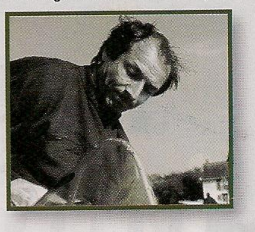
PAR MICHEL BARRY
Pilote professionnel, ingénieur aéronautique



Sécurité

Gaz d'échappement
Ne vous laissez pas asphyxier !

S'ils s'introduisent dans le cockpit, les gaz d'échappement vous mettent très vite dans l'incapacité de piloter. L'hiver, où l'on vole chauffage ouvert et ventilation coupée, le risque d'intoxication s'accroît. La vérification des conduits et la présence d'une pastille de détection de CO sont indispensables…

1 BEA

Intoxication mortelle

Rapport du BEA relatif à l'accident survenu en avril 2001 à un Mooney M20E

ÉVÉNEMENT : incapacité du pilote, perte de contrôle, collision avec le sol.
CAUSE IDENTIFIÉE : prise en compte insuffisante des effets toxiques de l'inhalation de gaz d'échappement.
CONSÉQUENCES & DOMMAGES : pilote et passagers décédés, aéronef détruit.
NATURE DU VOL : voyage.
PERSONNES À BORD : pilote + 2.
TITRES ET EXPÉRIENCE : pilote, 54 ans. Licence de pilote privé avion délivrée par l'Allemagne en 1980, qualification vol de nuit et instructeur. Licence de pilote privé avion délivrée par les États-Unis en 1990, qualification IFR. 1 631 hdv.
CONDITIONS MÉTÉO (estimées sur le site de l'accident) : vent de 310° à 320° / de 3 à 5 kt, visibilité supérieure à 10 km, BKN à 3 300 pieds, température 8 °C, QNH 1 006 hPa.

DÉROULEMENT DU VOL
Le pilote, accompagné de deux membres de sa famille, décolle de Brive à 13 h 42, en IFR, à destination d'Augsbourg (Allemagne). Immédiatement après le décollage, il indique sur la fréquence Afis la présence de fumée en cabine. Il se reporte en vent arrière main droite pour la piste 32, puis effectue un passage à la verticale de l'AD avec les trains d'atterrissage sortis. L'agent Afis ne constate aucune anomalie. Le pilote lui indique que la fumée à l'intérieur de la cabine a disparu et qu'il poursuit son vol vers Augsbourg.
À 13 h 50, à 3 000 pieds en montée vers le FL 110, le pilote contacte Bordeaux Contrôle. Il reçoit l'instruction de monter au FL 130 et de faire route directement sur MEN. Le pilote collationne « MEU » et demande un cap initial. Le cap 125 lui est donné, puis le FL 120 lui est attribué à 14 h 03.
À 14 h 14, le contrôleur constate que le Mooney est au FL 125 et demande au pilote de confirmer son niveau de vol. Ce dernier indique qu'il rejoint le FL 120. Ce message est le dernier émis par le pilote. Par la suite, seules des transmissions de fréquences porteuses seront reçues par le contrôleur. Le contact radar est perdu peu avant 14 h 17.

L'EXAMEN DU SITE & DE L'ÉPAVE montre que l'avion a heurté des arbres au sommet d'une colline avant d'entrer en collision avec le sol en limite d'agglomération, à une vitesse importante et avec une assiette à piquer d'une trentaine de degrés. Les traces laissées dans les branches indiquent qu'il était incliné d'environ 60° à droite. Toutes les ruptures observées sont consécutives à l'impact. Les déformations de l'hélice et de son cône indiquent que le moteur délivrait de la puissance. […]
L'EXAMEN MÉDICO-LÉGAL pratiqué sur les corps des trois personnes à bord a déterminé qu'il s'agissait d'une intoxication au monoxyde de carbone délivré dans l'habitacle via le circuit de chauffage, sans autres produits de combustion.

ANALYSES COMPLÉMENTAIRES. Les analyses effectuées sur la face interne de l'échangeur, sur les fragments de tuyauterie du circuit de réchauffage cabine et sur le revêtement du plancher de la cabine ont révélé la présence de bromure de plomb volatil provenant des gaz de combustion. Ces constatations indiquent le passage de gaz brûlés dans le système de réchauffage de la cabine.
L'ensemble de l'échappement a été fortement endommagé lors de l'impact et n'a pu être totalement reconstitué. Les déchirures des éléments de tôle restants n'ont pas révélé de traces de corrosion ou de fissuration.
INCIDENTS LORS DES PRÉCÉDENTS VOLS. La veille, un autre pilote avait transporté les occupants de l'avion accidenté. [Il s'agissait d'un vol IFR d'Augsbourg à Clermont-Ferrand.] Après 2 h 15 min de vol, les personnes à bord avaient été incommodées par une odeur de gaz d'échappement et le pilote avait ressenti des maux de tête. Après un réglage adapté du chauffage et de la ventilation, la situation s'était améliorée.
Le jour de l'accident, ce même pilote

a décollé à 10 h 45 de Clermont-Ferrand à destination de Brive, où il a atterri à 11 h 45. Le trajet s'est effectué en VFR, à une altitude de 5 000 pieds, avec les mêmes passagers. Peu après le décollage, le pilote avait senti une nouvelle fois une forte odeur de gaz d'échappement. Le chauffage était sur la position « ouvert » et la ventilation fermée. Le pilote avait attendu quelques minutes que l'odeur disparaisse. Comme celle-ci persistait, il avait fermé le chauffage et mis la ventilation sur « marche ». L'odeur s'était dissipée au bout de quelques minutes. Après ce vol, comme convenu, ce pilote est resté à Brive.

ENTRETIEN DE L'APPAREIL. Le moteur [un Lycoming IO-360 A1A] avait fonctionné 1 080 h depuis la dernière révision générale. Le pilote assurait la maintenance de l'avion sous le contrôle ou avec l'assistance d'un contrôleur agréé par la FAA. ●

Fumées blanches dans le cockpit

Rapport du BEA relatif à l'incident survenu en septembre 2003 à un HR200-120

ÉVÉNEMENT : fumées en cabine, atterrissage d'urgence.
CAUSE IDENTIFIÉE : non-détection d'une crique sur le pot d'échappement.
CONSÉQUENCES & DOMMAGES : aucun.
NATURE DU VOL : vérifications après intervention mécanique.
PERSONNES À BORD : instructeur + 1.
TITRES ET EXPÉRIENCE : instructeur, 30 ans, CPL de 1996, 667 hdv dont 435 sur type et 49 dans le mois précédent.
CONDITIONS MÉTÉO : vent 300° / 6 kt, visibilité 10 km, QNH 1 020 hPa.

DÉROULEMENT DU VOL

L'instructeur et un élève décollent de Merville à 10 h 30 pour un vol de navigation vers l'AD de Lille-Lesquin. Peu après le décollage, de la fumée blanche apparaît en cabine. L'instructeur reprend les commandes et revient atterrir.

L'atelier de maintenance ne parvenant pas à reproduire le phénomène au sol et ne décelant rien d'anormal, l'instructeur redécolle à 11 h 15. L'incident se reproduit en début de vent arrière et l'instructeur décide d'atterrir à nouveau. À l'atelier, les colliers sont resserrés sur le pot d'échappement.

L'instructeur redécolle, mais cette fois avec un mécanicien à bord. En montée initiale, à une hauteur de 500 pieds, ils perçoivent une odeur de gaz d'échappement. Puis de « petites fumées » sortent des évents de chauffage alors que ces derniers sont totalement obturés. L'instructeur se pose immédiatement sur la piste de Merville. Quelques minutes plus tard, le mécanicien et lui ressentent de légers maux de tête.

ORIGINE DES FUMÉES BLANCHES. Le ressuage du pot d'échappement montre la présence d'une crique sur la base d'une des deux pipes d'arrivée des gaz brûlés du pot d'échappement droit *(voir Fig. 1)*.

Après l'échange complet de celui-ci, le problème ne s'est plus reproduit. Le pot d'échappement totalisait, comme le moteur [un Lycoming O-235-L2A], 1 900 hdv. Il était inspecté toutes les 100 heures. ●

Fig. 1

Une technique par coloration (le ressuage) a mis en évidence, sur l'une des pipes du pot d'échappement, la crique responsable de l'arrivée des gaz dans la cabine.

2 REC INFO

Monoxyde de carbone en cabine

REC Info 5/2001 §4

Lors du vol de contrôle qui terminait un programme d'entretien, une anomalie a été notée. Écoutons le pilote aux commandes des avions, dont il demande de citer le modèle :

« Le verrouillage correct des portes est vérifié avant le décollage. Pendant le début du vol, en montée à 95 kt vers le niveau de vol 55, une mesure du CO (monoxyde de carbone) à l'aide d'un Drager (instrument de mesure de taux de CO) révèle une valeur dépassant 50 ppm C'est la valeur maximale mesurable ! La valeur usuelle acceptable est inférieure à 5 ppm. Lors de décrochages effectués plus tard au cours du même vol, une vibration attire mon attention et je constate le mauvais verrouillage de la porte gauche : le crochet arrière n'est pas verrouillé. Les occupants de l'avion décèlent alors l'odeur caractéristique des gaz d'échappement. Au sol, aucun défaut n'est constaté sur la cloison pare-feu ni sur les gaines de chauffage. Au cours d'un deuxième vol réalisé avec le même avion, les portes étant convenablement verrouillées, la mesure ne révèle pratiquement pas de CO.

L'avion en question était un TB10 relativement ancien, équipé d'un pot d'échappement silencieux qui débouche sous le fuselage, légèrement à gauche, par le travers du bord de fuite de l'aile.

Sur un TB20 équipé d'un pot d'échappement ordinaire (sortie sous le capot moteur, côté droit), avec un mauvais verrouillage de la porte gauche puis de la porte droite, le taux de CO reste inférieur à 5 ppm. » ●

3 RECIT

Sauvé par le détecteur de CO

Récit publié en décembre 2002 sur le site pilotlist.org, par Philippe Girault, pilote privé

En collant un détecteur de monoxyde de carbone sur le tableau de bord du Jodel, il y a huit jours, je ne pensais pas qu'il me servirait si rapidement *(voir Fig. 2, page suivante)*.

Samedi, à Toussus, visibilité réduite et plafond bas laissent peu d'espoir de pouvoir voler, puis vers 14 h 30 les nuages se déchirent pour laisser passer le soleil. La visibilité passe de 3 500 m à plus de 10 km en quelques minutes. Où aller ? Les Metar du nord et du sud de la région parisienne ne sont pas très bons, de plus le coucher du soleil à 15 h 56 TU ne permet pas d'aller bien loin. Pour ne pas faire un vol local, je décide d'aller à Chartres.

14 h 40, je mets en route le Jodel. Une inhabituelle explosion de gaz non brûlés dans le pot d'échappement ne m'inquiète pas outre me-

Détecteur de monoxyde de carbone (CO). Ce modèle à pastille sensible est similaire à celui qui équipait le Jodel de Philippe Girault.

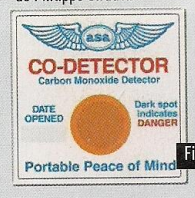


Fig. 2

sure. Roulage, décollage 25L, et je quitte la fréquence de Toussus à Dampierre. Peu après la ville de Rambouillet, je ne sais pas pourquoi, mon regard se porte sur la pastille orange du détecteur de CO (monoxyde de carbone) : je vois quelques points noirs, puis en 2 à 3 minutes la pastille vire au noir.

J'ouvre la ventilation, en haut de la verrière, en grand, et je vérifie que le chauffage est bien coupé. Durant un moment, je me demande même si je vais continuer comme ça vers Chartres ou faire demi-tour. Avant Bailleau, je prends la décision de rentrer à Toussus.

Petit à petit, je sens ma vigilance diminuer, je dois me concentrer, l'aération ouverte en grand ne doit pas suffire, je mets mon nez le plus près possible de la ventilation pour respirer l'air frais. Je fais quelques bêtises, je m'aperçois que je suis trop haut à RBT, je coupe l'alternateur au lieu de mettre la pompe (les deux interrupteurs sont côte à côte sur le Jodel), j'arrive enfin à Sierra en essayant de me concentrer le plus possible, je respire toujours au plus près de l'aérateur. Finalement, je réussis un bel atterrissage sur la 25R et suis bien content de pouvoir enfin ouvrir la verrière, une fois immobilisé sur le parking de l'aéroclub.

Quand j'arrive au club, l'instructeur me demande ce que j'ai, il paraît que je suis tout blanc.

Lundi matin, en inspectant l'avion, le mécanicien a trouvé deux criques sur l'échappement, au niveau du manchon où l'air est chauffé avant d'arriver à la bouche de chauffage.

Cet incident montre tout l'intérêt du détecteur de monoxyde de carbone. Désormais, j'en aurai un sur le tableau de bord été comme hiver, car le CO arrive à passer dans l'habitacle même chauffage coupé.

Le détecteur m'a permis de comprendre immédiatement ce qui m'arrivait et de prendre les bonnes décisions. Sinon comment détecter une baisse de vigilance avant qu'il ne soit trop tard?

Ouvrir la ventilation en grand n'est pas suffisant, il faut essayer de respirer l'air frais au plus près de l'aérateur. ●

4 ANALYSE

Un moteur d'avion de 120 ch produit (comme un moteur d'automobile) environ 200 litres de gaz de combustion par seconde, évacués ensuite par le dispositif d'échappement à l'extérieur de la cellule, dans une zone bien spécifique. Une fois « à l'air libre », les gaz ne doivent plus pouvoir pénétrer dans l'habitacle de l'appareil, même en infime quantité. Ils contiennent en effet des produits toxiques susceptibles d'engendrer des troubles graves, voire dangereux, pour les pilotes et les passagers :

- **UNE PERTE DE VIGILANCE** qui se transforme rapidement en une incapacité à exercer la fonction de pilote *(voir ci-dessus le récit de Philippe Girault)*;
- **UN EMPOISONNEMENT GAZEUX** qui peut conduire à l'asphyxie et à la mort si le vol se prolonge. Le pilote est inconscient mais la collision avec le sol pourra avoir lieu sans perte de contrôle, sous pilote automatique par exemple *(voir le premier rapport du BEA)*.

Comment les gaz passent-ils dans la cabine ?

À chaque nouveau projet d'avion, les constructeurs d'appareils certifiés étudient sérieusement la question. Il s'agira de démontrer ensuite, exigence nécessaire pour obtenir le certificat de navigabilité (CDN), que les gaz d'échappement sont bien évacués vers l'arrière, dans le sillage, où ils se diluent rapidement et deviennent inoffensifs.

En construction amateur (CNRA), les tests de pollution éventuelle de la cabine par les gaz d'échappement ne sont généralement pas effectués. Mais en restant proches d'architectures traditionnelles du système d'évacuation des gaz, les constructeurs amateurs se préservent des grosses erreurs. Au moindre doute, les inspecteurs du GSAC ne manqueraient pas de leur demander des modifications avant de délivrer le premier laissez-passer.

En conséquence, CDN ou CNRA, toutes les mesures sont prises afin qu'au cours du vol pilote et passagers ne soient pas incommodés ou empoisonnés par les gaz d'échappement. Mais ces contrôles techniques ont lieu sur un appareil neuf, donc équipé d'un dispositif d'échappement en bon état.

Ensuite, lorsque l'avion s'use et se détériore, le risque peut provenir de fuites gazeuses qui passent à travers des orifices accidentels du système d'échappement. Et si les fuites se produisent malencontreusement dans une partie de l'appareil où l'air est prélevé pour ventiler ou réchauffer la cabine, les gaz toxiques peuvent pénétrer dans l'habitacle.

LES FUITES INTEMPESTIVES. Elles ont des causes diverses :

- **conduits d'échappement endommagés** (criques, trous de corrosion, rupture…) – *voir le second rapport du BEA;*
- **desserrement d'un collier ou liaison non étanche** entre deux tronçons du conduit d'échappement ou entre le moteur et le collecteur d'échappement;
- **criques** sur le moteur lui-même (culasses, cylindres, carter, collecteurs…).

LES ANOMALIES DES ÉLÉMENTS DE CARÉNAGE. Autre possibilité d'aspiration des gaz d'échappement dans la cabine : les anomalies des éléments de carénage de l'avion (capot, entrée d'air, verrière, portes de cabine…) qui sont susceptibles de modifier l'écoulement de l'air extérieur autour de l'avion.

Ainsi, localement, il peut se produire une réaspiration des gaz (zone de dépression) là où ils sont expulsés tout à fait normalement par l'orifice d'échappement. On voit, dans le récit publié par *REC Info*, comment une porte mal fermée provoque l'aspiration des gaz d'échappement : éjectés au niveau du bord de fuite de l'aile, ces gaz réussissent à remonter dans la cabine.

L'idée selon laquelle l'écoulement de l'air autour de l'avion va toujours d'avant en arrière est bien remise en cause. Croyance dangereuse quand elle conditionne l'étude des dispositifs d'échappement !

Recommandations

PRÉVENTION

- **Maintenance périodique.** Un suivi professionnel avec inspection périodique du système d'échappement et contrôle de l'absence de monoxyde de carbone (CO) dans la cabine est obligatoire sur tous les avions.
- **Inspection ponctuelle.** Un démarrage laborieux peut provoquer un endommagement par explosion dans les organes d'échappement (tuyaux, pots…). Se méfier des moteurs qui démarrent mal et faire procéder à une inspection si l'on entend le bruit caractéristique des imbrûlés explosant dans les pots *(voir le récit de Philippe Girault)*.
- **Attention lors de la sélection des magnétos !** Sur la plupart des moteurs, évitez de couper le contact

(essai coupure) pour des régimes excédant 800 tr/min. En effet, dès que vous aurez remis le contact sur ON, les gaz frais, non brûlés du fait de la coupure et qui se sont un court instant accumulés dans l'échappement, exploseront instantanément.

EN VOL

- Sachez reconnaître l'odeur caractéristique des gaz d'échappement. Le monoxyde de carbone (CO) pur est inodore, mais les gaz d'échappement contiennent d'autres produits liés à la combustion plus ou moins complète des hydrocarbures et des lubrifiants. Ce mélange gazeux, outre les odeurs, provoque aussi des irritations aux yeux.

- Sachez reconnaître les symptômes primaires d'une intoxication par le monoxyde de carbone *(voir encadré « Symptômes d'un empoisonnement au CO »)*. En l'absence de toute odeur de gaz, il y a peut-être du monoxyde de carbone dans la cabine !

- Équipez l'avion d'un détecteur de CO et surveillez ce détecteur. S'il s'agit d'une pastille sensible, son changement de couleur témoigne de la présence de CO. De couleur initialement claire, elle fonce rapidement dès que le CO l'atteint. Ce gaz étant toujours présent dans l'environnement d'un avion, y compris au sol, les pastilles virent au bout de quelques mois et ne sont plus capables de détecter le CO. D'où la nécessité de les changer tous les 3 mois environ. Recommandées même sur les avions neufs, elles sont a fortiori indispensables dès que l'étanchéité du système d'échappement est douteuse.

Il existe aussi des détecteurs électroniques, dont de nombreux modèles standards peuvent être embarqués dans nos avions.

À noter, la DGAC et certains avionneurs *(voir Fig. 3)* recommandent l'installation à bord d'un détecteur de monoxyde de carbone.

- Connaissez et appliquez la checklist en cas de présomption de présence de CO dans la cabine. En général, il s'agit de couper immédiatement le réchauffage cabine et de fermer tout autre ouverture qui pourrait acheminer dans la cabine de l'air provenant du compartiment moteur. D'ouvrir immédiatement une source d'air frais. D'éviter de fumer. D'inhaler de l'oxygène pur si disponible. De se poser le plus rapidement possible. ●

Symptômes d'un empoisonnement au CO

En janvier 2005, la DGAC publiait le bulletin BR 2005/02(A) mettant en garde contre les dangers du monoxyde de carbone :

« Le monoxyde de carbone (CO) est le produit d'une combustion incomplète d'un matériau à base de carbone. On le trouve en quantité variable dans la fumée et les émanations provenant de la combustion de carburants et lubrifiants de moteurs d'avion. **Le gaz en lui-même n'a pas de couleur, d'odeur ou de goût.**

Quand le monoxyde de carbone arrive dans les poumons, il se combine avec l'hémoglobine qui normalement transporte l'oxygène. Le monoxyde de carbone se fixe tellement plus facilement que l'oxygène sur l'hémoglobine qu'il en résulte une sous-alimentation de l'organisme en oxygène. [...] **Les tout premiers symptômes** d'un empoisonnement au CO sont des impressions de léthargie, d'avoir trop chaud, et d'oppression dans le front. Ces premiers symptômes peuvent être suivis d'impressions plus intenses telles que mal de tête, palpitations ou pression au niveau des tempes et bourdonnements dans les oreilles. Ceux-ci à leur tour peuvent être suivis de sérieux maux de tête, faiblesse générale, vertiges, et réduction graduelle du champ de vision. De grandes accumulations de CO dans l'organisme peuvent conduire à une perte de puissance musculaire, des vomissements, des convulsions et le coma. Finalement, il y a une réduction graduelle des battements du cœur, un ralentissement de la respiration et la mort. » ●

SUPPLEMENT AU MANUEL DE VOL

INSTALLATION EN CABINE D'UN DETECTEUR DE CO

SUPPLEMENT AU MANUEL DE VOL

DETECTEUR DE MONOXYDE DE CARBONE (CO)

Ce supplément au manuel de vol contient les informations que les conditions de certifications exigent de fournir au pilote. Ces informations remplacent ou complètent celles du manuel de vol approuvé.

Ce supplément annule et remplace tout additif au manuel de vol concernant le détecteur de CO.

Révision	Date	Description	Approbation
//////////	13 May 2008	Edition originale	EASA.A.C.04710

APPLICABILITE

Type d'avion	Modèles	Modification constructeur
DR300	tous modèles	n°041204
DR400	tous modèles	n°041204
ATL	tous modèles	n°041204
R3000	tous modèles	n°041204
DR220	tous modèles	n°041204
DR221	tous modèles	n°041204
DR200		n°041204
DR250	tous modèles	n°041204
DR253	tous modèles	n°041204
HR100	tous modèles	n°041204
R1180T - R1180TD		n°041204
CAP10, CAP10B		n°041204
CAP20, CAP20L/S 200, CAP21, CAP230, CAP231, CAP231EX, CAP232		n°041204

Document n°1001246 Page 1/2 05 octobre 2007

SUPPLEMENT AU MANUEL DE VOL

INSTALLATION EN CABINE D'UN DETECTEUR DE CO

Les sections du manuel de vol sont affectées de la façon suivante :

1. GENERALITES

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz toxique qui n'a ni couleur, ni saveur, ni odeur. Les symptômes d'une contamination au CO sont, par ordre d'apparition et d'intensité :

- sensation de léthargie, de chaleur, de tension crânienne ;
- mal de tête, pression ou battement dans les tempes, sifflement dans les oreilles ;
- violent mal de tête, fatigue générale, vertiges et baisse progressive de l'acuité visuelle ;
- perte de toute force musculaire, vomissements, convulsion et coma.

On trouve en particulier le CO dans les gaz d'échappement de l'avion. La cabine étant chauffée par l'air qui a circulé autour des tuyauteries d'échappement, une crique dans ces tuyauteries peut entraîner la pénétration de CO en cabine.

Par mesure de précaution, l'installation en cabine d'un détecteur de CO dans le champ visuel du pilote est recommandée.

2. LIMITATIONS

Sans changement.

3. PROCEDURES D'URGENCE

Si la pastille du détecteur de CO change de couleur ; ou bien si vous sentez une odeur de gaz d'échappement dans la cabine ; ou bien encore si un ou plusieurs des symptômes d'une contamination au CO (voir ci-dessus) apparaît, appliquer immédiatement les consignes suivantes :

- Fermez le chauffage cabine
- Ouvrez toutes les sources d'air frais
- Posez-vous dès que possible

Avant de reprendre le vol, l'avion devra être examiné par un mécanicien autorisé.

4. PROCEDURES NORMALES

VISITE PREVOL

En cas d'installation, vérifier la validité du détecteur de monoxyde de carbone.

5. PERFORMANCES

Non affectées.

6. MASSE ET CENTRAGE

Non affectées.

Document n°1001246 Page 2/2 05 octobre 2007

Fig. 3

Apex recommande *« l'installation en cabine d'un détecteur de CO dans le champ visuel du pilote »* sur tous les avions de sa gamme, y compris les appareils de voltige.

Le constructeur précise, dans ce document de 2007, les procédures d'urgence en cas de présence de gaz d'échappement en cabine.