

**Arrêt du moteur au cours d'une remise en puissance
lors d'un exercice d'autorotation, en instruction**

Aéronef	Hélicoptère Airbus Helicopters EC120 immatriculé F-GMHZ, moteur Turboméca ARRIUS 2F s/n 34274
Date et heure	25 juillet 2014 à 10 h 00 ⁽¹⁾
Exploitant	Société
Lieu	Aérodrome d'Avignon Caumont (84)
Nature du vol	Aviation générale
Personnes à bord	Elève et instructeur
Conséquences et dommages	Hélicoptère détruit

⁽¹⁾Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure locale.

1 - DÉROULEMENT DU VOL

L'élève, accompagné de son instructeur, décolle de l'aérodrome d'Avignon Caumont vers 9 heures, pour le dernier vol d'entraînement avant l'examen final pour l'obtention de la licence de pilote privé hélicoptère. Après avoir effectué plusieurs exercices, il revient dans le circuit d'aérodrome d'Avignon Caumont vers 10 heures. L'instructeur lui demande d'effectuer un nouvel exercice d'autorotation en se présentant en début de branche vent arrière à une hauteur de 1 100 ft et 65 kt. L'élève se positionne en branche vent arrière pour la piste 17 à une hauteur d'environ 1 300 ft. Alors que l'hélicoptère passe le travers du seuil de la piste, l'instructeur annonce le début de l'exercice et positionne la poignée tournante sur le cran « *ralenti vol* ». Il note que la mise en virage est tardive, mais que la gestion de la vitesse et du régime rotor est satisfaisante. Il laisse l'élève poursuivre l'exercice. En finale, à l'issue du 180°, l'élève annonce qu'il n'atteindra pas le seuil de piste. L'instructeur remet la poignée tournante sur le cran « *vol* », l'à-coup en lacet et la montée de l'indicateur au FLI⁽²⁾ semblent indiquer une reprise du moteur. L'alarme « *LOW NR* »⁽³⁾ se déclenche et le voyant « *ENG P* »⁽⁴⁾ s'allume. L'instructeur identifie la panne réelle du moteur et reprend les commandes. Il agit sur les commandes de vol pour franchir la haie qui se situe sur la trajectoire et tente de réaliser un posé-glissé en amont du seuil décalé de piste. L'hélicoptère heurte durement le sol, le rotor principal sectionne la poutre de queue, l'hélicoptère glisse et s'immobilise au début de la piste.

⁽²⁾FLI: Indicateur de première limitation (mode d'affichage des paramètres moteur).

⁽³⁾LOW NR: Alarme de bas régime rotor.

⁽⁴⁾ENG P: Alarme de baisse de pression d'huile du moteur.

2 - RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

2.1 Examen du site de l'épave

La cellule, le train d'atterrissement et les pales du rotor principal sont endommagés. La continuité des commandes de vol, des ensembles mécaniques et du circuit carburant ont été vérifiés. Aucune anomalie ou endommagement préalable à l'accident n'a été détecté.

L'examen visuel du moteur montre qu'il est libre en rotation et que les bouchons magnétiques sont propres. Les commandes permettant le contrôle du moteur sont connectées et fonctionnent.

⁽⁵⁾VEMD :
Vehicule and Engine
Multifonction Display.

⁽⁶⁾CSM ou EPC –
Contrôle Santé
Moteur ou Engine
Power Check : test
effectué depuis une
page dédiée du
VEMD et enregistré.

⁽⁷⁾T4 : température des
gaz d'échappement;
T4 Margin : marge
par rapport à la
température limite
en sortie de chambre
de combustion.

⁽⁸⁾FCU : Fuel Control
Unit (Régulateur
carburant).

⁽⁹⁾Coke : résidu de
la combustion de
produit pétrolier
se présentant sous
forme solide et noire
majoritairement
composée de carbone
(phénomène de
cokéfaction).

2.2 Examens

2.2.1 VEMD⁽⁵⁾

L'analyse des données enregistrées dans le VEMD montre qu'aucune panne et aucun dépassement n'ont été enregistrés lors du vol de l'accident.

L'analyse des résultats des derniers tests CSM⁽⁶⁾ enregistrés dans le VEMD montre qu'ils n'étaient pas satisfaisants. Une « *T4 Margin* »⁽⁷⁾ hors tolérance était enregistrée et comprise entre + 8° et + 15°.

2.2.2 Moteur

Le moteur a été testé sur un banc d'essai afin d'essayer de déterminer l'origine de l'arrêt lors de la remise en puissance.

Ces tests ont permis de reproduire l'extinction du moteur sur manœuvre rapide de la poignée tournante depuis le cran « *ralenti vol* » vers le cran « *vol* ». Ils ont révélé le non fonctionnement de la fonction « *anti-extinction* » sur manœuvre rapide de la poignée tournante.

Le test de la fonction « *anti-extinction* » au banc d'essai consiste en une diminution du débit carburant de 130 +/- 5 l/h à 27 +/- 1 l/h en 0.5 secondes. Il a pour but de tester le fonctionnement de l'injecteur privilégié dont le rôle est de maintenir un débit suffisant sur un injecteur lors de baisse brutale de débit. Lors des deux essais réalisés, deux extinctions ont été constatées.

L'injecteur privilégié a été remplacé sur le moteur et tous les tests ont été passés avec succès. Les résultats de ces tests ont montré que le moteur était dans les critères et les tolérances exigés pour la délivrance du « *bon de vol* ».

Les résultats des contrôles de bon fonctionnement du FCU⁽⁸⁾, de l'ensemble des clapets et des demi-rampes d'injection ont été jugés acceptables.

Le test de débit puis la découpe de l'injecteur privilégié ont confirmé le colmatage total du gicleur par un bouchon de coke⁽⁹⁾.

Les tests de débit réalisés sur les deux demi-rampes d'injection n'ont pas révélé d'anomalie. La découpe de trois des neufs injecteurs principaux des demi-rampes d'injection n'a pas mis en évidence de trace de coke.

L'injecteur privilégié et les demi-rampes d'injection avaient été remplacés en juillet 2013. Le colmatage de l'injecteur privilégié est intervenu après 188 heures de fonctionnement du moteur.

2.3 Tests CSM

Seuls les huit derniers tests CSM sont enregistrés chronologiquement⁽¹⁰⁾ dans le VEMD, ils ne sont ni datés ni référencés par rapport aux numéros de vol.

Les tests CSM sont décrits au paragraphe 5.3 du manuel de vol.

⁽¹⁰⁾Le n° 8 est le plus récent.

⁽¹¹⁾Les révisions conditionnelles du manuel de vol sont identifiées par des feuillets rose.

⁽¹²⁾Torque.

La Révision Conditionnelle⁽¹¹⁾ n° 6 (RC6) amende ces tests tant que le bulletin de service SB n° 31.003 n'a pas été appliqué. Elle permet de corriger les valeurs de « *TRQ*⁽¹²⁾ Margin » et « *T4 Margin* » si les résultats obtenus sont hors tolérance. Pour la « *T4 Margin* », la correction consiste à retirer 20 °C du résultat. Si la valeur corrigée obtenue est négative, alors le résultat du test est considéré comme correct et aucune action de maintenance n'est requise.

Le SB n° 31.003 révision 0 du 13 décembre 2004, concerne l'évolution du standard du VEMD version V02 et V03 vers une version V04. Outre l'optimisation de certaines fonctionnalités, ce SB intègre une modification du calcul des paramètres de santé moteur qui permet de s'affranchir de la correction manuelle et entraîne la suppression de la RC6 du manuel de vol.

Le VEMD du F-GHMZ (P/N B19030FB04 S/N 1842 de novembre 2001) étant au standard V04, cette RC6 n'était donc pas applicable. Les valeurs lues lors du test CSM et les résultats obtenus étaient directement interprétables concernant l'état de santé du moteur.

Chaque hélicoptère dispose d'un manuel de vol personnalisé qui doit être tenu à jour et dans lequel les différentes RC doivent être ajoutées ou enlevées en fonction du standard et des équipements de l'aéronef. Le propriétaire de l'hélicoptère recevait les mises à jour, néanmoins la RC6 était présente dans le manuel de vol de l'hélicoptère.

2.4 Maintenance

Le programme de maintenance du moteur (chapitre 05 du manuel de maintenance) préconise :

- le remplacement de l'injecteur privilégié toutes les 400 heures ;
- le remplacement des deux demi-rampes d'injection toutes les 400 heures ;
- le test de l'injecteur privilégié toutes les 500 heures (+/- 10%) ou 24 mois.

Dans le cas d'un test CSM « *hors tolérance* », le manuel de maintenance prévoit une recherche de panne qui peut conduire à un changement des demi-rampes d'injection et de l'injecteur privilégié.

L'hélicoptère a été mis en liste de flotte de la société le 15 avril 2014. A partir de cette date, le suivi des vols était réalisé par CRM⁽¹³⁾.

Selon les règles de l'exploitant, un test CSM doit être réalisé après chaque visite « *100 heures* » du moteur⁽¹⁴⁾. Cet hélicoptère était utilisé pour de l'instruction en vol. Des tests CSM ont été réalisés en vol à titre pédagogique en plus de ceux prévus par la maintenance.

Un seul résultat de test CSM est noté sur le CRM en date du 2 juillet 2015. Lors de la visite « *100 heures* » du 15 juillet 2014, le test CSM a été effectué et une photo de la page du VEMD a été transmise par le pilote à l'atelier de maintenance. Ce test n'a pas été reporté sur le CRM.

⁽¹³⁾CRM : Compte Rendu Matériel.
Avant cette date, le propriétaire était l'utilisateur exclusif. Il n'utilisait pas de CRM et le carnet de route ne fait pas apparaître les résultats des tests CSM.

⁽¹⁴⁾Les deux dernières visites « *100 heures* » du moteur ont eu lieu le 17 février et le 15 juillet 2014.

Pour les tests CSM n° 7 et n° 8 enregistrés dans le VEMD, alors que les résultats font apparaître une « *T4 Margin* » hors tolérance, les deux CRM concernés comportent la mention « *RAS* » dans la colonne « *anomalies constatées* » et aucune opération de maintenance n'a été déclenchée.

Il n'a pas été possible de déterminer précisément la date de réalisation des six premiers tests CSM.

2.5 Technique d'entraînement à la simulation de panne moteur

L'entraînement à l'autorotation consiste à simuler une perte de puissance du moteur. L'objectif de cet exercice est d'entraîner l'élève à choisir une zone propice à l'atterrissement, à gérer la trajectoire permettant d'atteindre cette zone, à surveiller la vitesse, à maintenir les tours rotor dans la plage optimale et à l'approche du sol à réaliser le « *flare* » permettant l'atterrissement. Pour cet exercice, l'instructeur positionne la commande de puissance sur le cran « *ralenti vol* » pour simuler la perte de puissance. Il peut à tout moment interrompre l'exercice et repasser la commande de puissance sur le cran « *vol* ». Néanmoins, afin de prendre en compte l'apparition d'une panne réelle du moteur ou le temps nécessaire au moteur pour remonter en puissance, le constructeur recommande que le choix de la zone d'atterrissement et le suivi de la trajectoire permettent de poursuivre l'autorotation en sécurité jusqu'au sol.

La partie du manuel de vol traitant de l'entraînement à l'autorotation avec reprise moteur (§4.3) indique de mettre progressivement la poignée tournante vers le cran « *vol* » (vers 70 ft) puis d'augmenter progressivement le pas général pour réduire le taux de descente (vers 20-25 ft).

Néanmoins, il est également indiqué que :

- « *si nécessaire, il est possible de revenir rapidement dans le cran vol de la poignée tournante à n'importe quel moment et pour n'importe quelle valeur de NR* » ;
- « *l'entraînement à l'autorotation devra être effectué dans les limites de la distance de plané vers une aire d'atterrissement convenant à un atterrissage glissé* ».

2.6 Expérience de l'équipage

2.6.1 Instructeur

L'instructeur est titulaire d'une licence de pilote professionnel hélicoptère CPL(H), d'une licence de pilote professionnel avion CPL(A) et de la qualification instructeur hélicoptère FI(H). Il totalisait 920 heures de vol dont 395 sur avion et 525 sur hélicoptère dont 170 heures sur R22 et 90 sur EC120B en tant qu'instructeur.

Il a été embauché par la société le 14 avril 2014 et il a effectué son premier vol sur l'hélicoptère accidenté le 7 mai 2014.

2.6.2 Elève

L'élève totalisait environ 75 heures de vol dont 65 en double commande.

2.7 Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques observées sur l'aérodrome d'Avignon Caumont à l'heure de l'accident étaient les suivantes (*source METAR de 10 heures*) :

- vent variable pour 3 kt ;
- visibilité supérieure à 10 km ;
- pas de nuage significatif ;
- température 24 °C, point de rosée 18 °C ;
- QNH 1013 hPa.

2.8 Témoignage de l'instructeur

L'instructeur indique qu'il avait identifié que la mise en virage tardive de l'élève ne permettait pas d'une part d'atteindre la zone d'atterrissement initialement choisie et d'autre part que le nouveau point d'aboutissement, comportant des obstacles, ne permettait pas d'atterrir en sécurité. Il a néanmoins décidé de laisser l'élève poursuivre l'exercice et avait prévu une remise de gaz lors de la finale.

Il précise qu'il avait remarqué que certains tests CSM indiquaient une « *T4 Margin* » hors tolérance. Il en avait discuté avec l'atelier de maintenance. Il lui avait été répondu que les résultats étaient acceptables.

3 - ENSEIGNEMENTS ET CONCLUSION

3.1 La défaillance du moteur

Lors de la phase d'accélération du cran « *ralenti vol* » vers le cran « *vol* », le débit carburant augmente très vite. Afin d'éviter une survitesse de la turbine, la régulation automatique réduit le débit carburant avant de l'augmenter progressivement. Une action sur la commande de pas général entraîne également une augmentation du débit carburant. La vitesse de diminution de débit par la régulation automatique est proportionnelle à la rapidité d'augmentation du débit carburant, ce qui peut dans certains cas conduire à se retrouver dans les conditions identiques au test de la fonction « *anti-extinction* ».

L'injecteur privilégié étant colmaté par un bouchon de coke, l'extinction du moteur était alors possible dans le cas d'une augmentation rapide de la puissance moteur.

Le phénomène de cokéfaction est connu et la périodicité de remplacement des injecteurs permet normalement de se prémunir contre ce phénomène. L'injecteur privilégié étant le plus sollicité lors du fonctionnement du moteur, c'est le plus sensible au colmatage. L'origine du colmatage prématûr de l'injecteur privilégié n'a pas pu être déterminée.

Il est probable que le colmatage de l'injecteur privilégié ait contribué au résultat « *hors tolérance* » enregistré par le VEMD lors du test CSM, réalisé après la visite « *100 heures* » du moteur dix jours avant l'accident.

3.2 Analyse des tests CSM

Le test est réalisé en cours de vol par le pilote. Le résultat du test est directement consultable par le pilote et enregistré dans le VEMD. Il est également consultable au sol par le mécanicien dans les pages de maintenance du VEMD.

Bien que les résultats des deux derniers tests aient été portés à la connaissance de l'atelier de maintenance (inscription sur le CRM ou transmission par email), l'opérateur de maintenance n'a pas détecté l'anomalie et n'a pas déclenché la recherche de panne exigée par le manuel de maintenance. Il est probable que l'erreur d'interprétation du résultat du test CSM résulte d'une méconnaissance du standard du VEMD équipant l'hélicoptère.

Le diagnostic correct du test CSM aurait permis :

- de déclencher les actions de maintenance appropriées ;
- de procéder si nécessaire au remplacement de l'injecteur privilégié ;
- de ne pas autoriser de vol un hélicoptère présentant une panne latente sur le moteur.

En l'absence de référence chronologique, il n'a pas été possible de dater les six premiers tests CSM. Les résultats « *hors tolérance* » constatés pourraient être antérieurs au remplacement des demi-rampes d'injection et de l'injecteur privilégié. Ils pourraient indiquer la présence d'une autre panne.

3.3 Analyse de l'exercice d'autorotation

La décision de l'instructeur de laisser l'élève poursuivre l'exercice alors que la trajectoire ne permettait plus de réaliser un atterrissage en sécurité et de remettre les gaz en finale montre que l'instructeur n'a pas pris en compte l'éventualité d'une panne réelle.

Lors de la remise de gaz en finale, la proximité des obstacles a probablement conduit l'instructeur à agir sur la commande de puissance plus rapidement que lors des exercices précédents. Cette action a eu pour effet d'entraîner l'arrêt du moteur du fait de l'état de l'injecteur privilégié.

L'indication initiale au FLI et l'à-coup en lacet lors de la remise en puissance ont contribué à donner à l'instructeur une représentation erronée de la situation. La détection de la panne réelle n'a eu lieu que lors de l'apparition des alarmes sonores et visuelles.

L'interruption de l'exercice d'autorotation par l'instructeur dès la détection de l'écart de trajectoire aurait probablement permis d'éviter l'accident. Dans le cas où une panne serait survenue lors de la remise en puissance, l'instructeur aurait disposé de plus de marge de manœuvre et de temps pour la gérer.

3.4 Conclusion

L'accident est dû à la décision de l'instructeur de retarder la remise en puissance du moteur alors qu'il avait détecté que la trajectoire ne permettait plus de poursuivre l'exercice jusqu'à l'atterrissement, ce qui l'a placé dans une situation où il ne pouvait plus assurer la sécurité du vol en cas de panne réelle.

Ont contribué à l'accident :

- l'arrêt du moteur non détecté immédiatement par l'instructeur lors de la remise en puissance à faible hauteur à l'issue d'un exercice d'autorotation ;
- l'interprétation erronée par l'atelier de maintenance des données issues du test CSM ayant conduit à autoriser de vol un hélicoptère présentant une panne latente ;
- l'apparition prématuée et non expliquée du phénomène de cokéfaction ayant conduit au colmatage de l'injecteur privilégié.