



Accident de l'hélicoptère AIRBUS - AS350 - B2 immatriculé 3A-MLC

survenu le 26 septembre 2019
au Col de Véry (73)

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

Heure	Vers 18 h 25 ⁽¹⁾
Exploitant	Monaco Heli-Loc
Nature du vol	Navigation
Personnes à bord	Pilote et trois passagers
Conséquences et dommages	Hélicoptère endommagé

Arrêt du moteur en vol, autorotation, endommagement de l'arbre de transmission par le rotor principal lors de l'atterrissage en campagne

1 - DÉROULEMENT DU VOL

Note : Les informations suivantes sont principalement issues de l'enregistreur de vol, des témoignages et des examens.

Le pilote accompagné de trois passagers décolle de Carros aux environs de Nice (06) à destination de Villers le lac (25).

En croisière, alors qu'il survole les Alpes, le pilote détecte l'allumage du voyant **MOT.LIM**⁽²⁾ indiquant la présence de limaille dans le moteur. Il décide de se diriger vers l'altiport de Megève (74) (point ❶ de la [Figure 1](#)) qui est situé à quelques minutes de vol⁽³⁾ et il débute la descente. Environ trois minutes plus tard (point ❷), il entend un bruit suspect, il réduit la puissance du moteur jusqu'au ralenti et débute une autorotation (point ❸). Un témoin voit passer l'hélicoptère en descente, il entend également une détonation et voit de la fumée s'échapper du moteur. En fin d'approche finale, lors de l'arrondi, le pilote ressent un à-coup dans les palonniers et constate un mouvement en lacet de l'hélicoptère. Il effectue un atterrissage glissé (point ❹).

⁽²⁾ La procédure
associée indique
d'atterrir dès que
possible sur une
zone adaptée.
L'allumage du voyant
est commandé par
un des bouchons
magnétiques
installés sur le circuit
d'huile du moteur.

⁽³⁾ Environ 10 NM
de sa position.

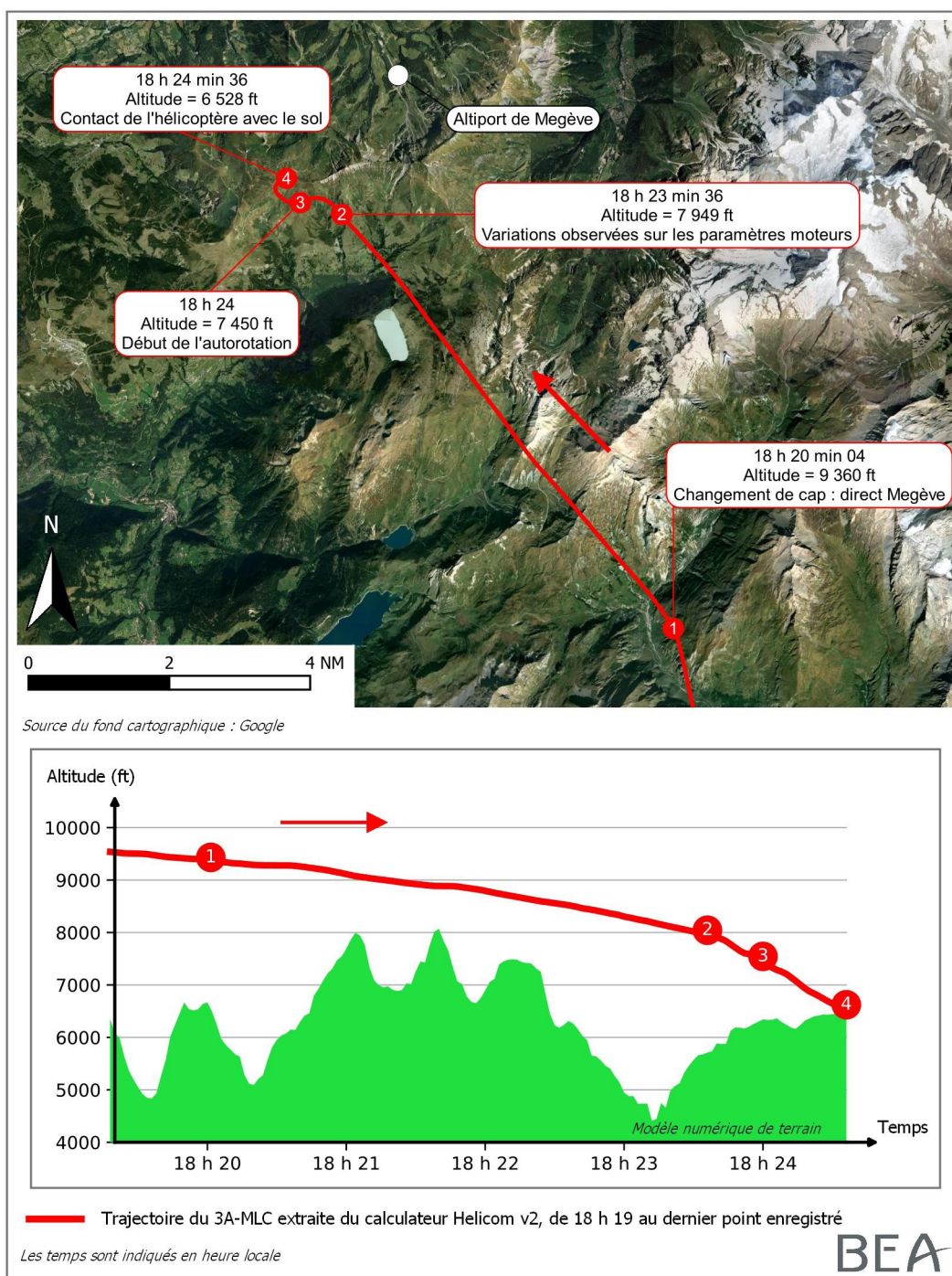


Figure 1 : Trajectoire suivie par le pilote

2 - RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

2.1 Expérience du pilote

Le pilote, titulaire d'une licence de pilote privé d'hélicoptère PPL(H), totalisait environ 600 heures de vol dont 550 en tant que commandant de bord et 25 dans les 3 derniers mois, toutes sur l'hélicoptère 3A-MLC.

2.2 Conditions météorologiques

Les conditions relevées sur le site par le pilote étaient un vent de secteur sud-ouest pour environ 5 kt, CAVOK.

2.3 Analyse des paramètres de vol

L'hélicoptère était équipé d'un calculateur Helisafe. Les données du vol ont été extraites.



Figure 2 : Planche de paramètre du vol

Compte tenu du témoignage du pilote, l'allumage du voyant MOT.LIM se situe un peu avant le point ❶ qui correspond à la prise de cap vers l'aéroport de Megève.

Jusqu'au point ❷ soit pendant environ quatre minutes, les paramètres moteur sont nominaux.

Entre les points ❷ et ❸, les fluctuations des paramètres moteur indiquent une dégradation rapide du moteur et un fonctionnement anormal.

À partir du point ❸, la diminution rapide de la vitesse de rotation de la turbine libre (N2) et du régime du générateur de gaz (N1) indique que le moteur s'arrête. La valeur du couple moteur à 0 montre que le moteur ne transmet plus de puissance au rotor. La vitesse de rotation du rotor (NR) n'est plus synchronisée avec celle de la turbine libre (N2) ce qui indique le début de l'autorotation.

Une baisse de la vitesse de rotation du rotor dans les neuf secondes qui précèdent le contact avec le sol est également visible ce qui correspond très probablement à l'arrondi réalisé par le pilote pour atterrir.

2.4 Examens

2.4.1 Examen du site et de l'hélicoptère

Le site de l'accident se situe au col du Véry en zone montagneuse hostile à 2 000 m. L'hélicoptère repose sur ses patins.

L'hélicoptère présentait deux zones d'endommagements sur la poutre de queue :

- ❑ Le capot de la transmission rotor arrière présentait une déchirure au niveau de son bossage (Zone 1).
- ❑ Le capot de la transmission rotor arrière était en partie arraché au niveau de la zone du plan fixe horizontal (Zone 2). L'arbre de transmission arrière est coupé. La bielle de commande de pas du rotor anti-couple (RAC) est déformée.



Source : BEA

Figure 3 : Dommages externes sur la poutre de queue

Les examens réalisés sur site et en atelier montrent qu'une des pales du rotor principal (pale jaune) présente deux marques d'interférence sur l'intrados à environ 30 cm de l'extrémité ainsi que des traces de peinture (de couleur identique à celle de l'arbre de transmission arrière) au niveau du bord d'attaque en bout de pale.

Cette interférence, qui a conduit à la rupture de l'arbre de transmission arrière, résulte probablement de la combinaison de plusieurs facteurs, tels qu'une faible vitesse de rotation du rotor principal associée à une commande importante de pas cyclique vers l'arrière et un effet de bascule de la cellule lié au contact de la béquille de la poutre de queue avec le sol.

Lorsque l'arbre de transmission du rotor arrière s'est rompu, ce dernier est venu en contact avec la bielle de commande de pas du rotor arrière (lacet) entraînant ainsi son déplacement forcé et sa déformation qui est très certainement à l'origine de l'à-coup en lacet ressenti par le pilote.

L'arbre court en acier (côté moteur), toujours entraîné en rotation, n'était plus couplé à l'arbre de transmission arrière. Il est alors venu battre, ce qui a généré les dommages constatés au niveau du bossage.

L'examen du train d'atterrissage a permis de déterminer que l'hélicoptère s'est posé avec une faible vitesse verticale.

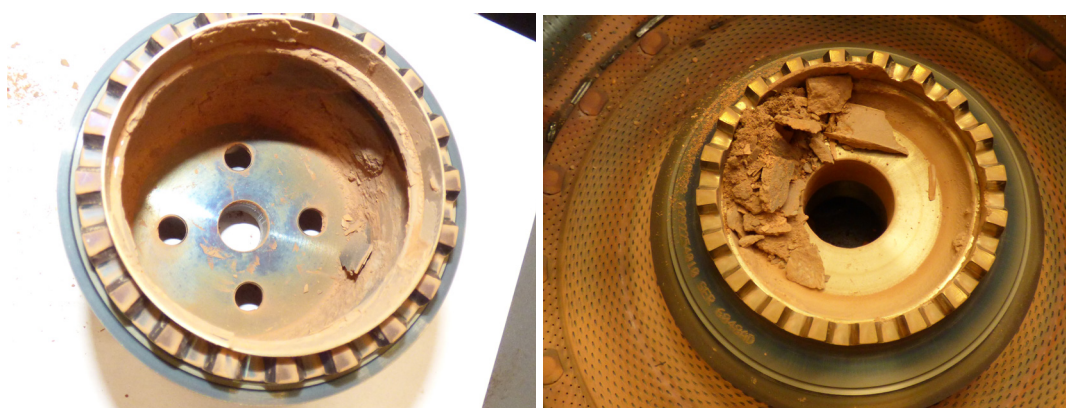
Lors de l'examen complet de la cellule de l'hélicoptère, aucun défaut antérieur à l'accident ou quelconque anomalie n'a été constaté.

2.4.2 Examen du moteur

L'examen du moteur a mis en évidence :

- ❑ La présence de particules métalliques sur tous les bouchons magnétiques.
- ❑ Un niveau d'érosion important (environ 3 mm) du bord d'attaque des pales de la roue du compresseur axial (module 2).
- ❑ Un niveau d'érosion important, supérieur aux valeurs de tolérance préconisées par le constructeur, du bord d'attaque des pales du diffuseur centrifuge (module 3).
- ❑ Un endommagement du roulement arrière du générateur de gaz présentant une importante usure des rouleaux sous phénomène de friction avec la piste interne et une matière adhérente due au grippage de ces derniers.
- ❑ Une présence importante de latérite sur tous les composants du module 3, et notamment le prélèvement de 13,5 g de latérite à l'intérieur de l'arbre creux⁽⁴⁾.
- ❑ Divers endommagements sur l'ensemble des éléments tournants du moteur résultant de la ruine du roulement arrière du générateur de gaz.

⁽⁴⁾ Le modèle de l'arbre creux du moteur ne présentait pas la modification TU 360 : amélioration du circuit d'air de l'arbre creux afin de réduire l'accumulation de poussière et de latérite.



Source : BEA

Figure 4 : Présence de latérite dans l'arbre creux (à gauche) et la roue d'injection (à droite) s'accouplant à l'arbre creux

L'endommagement du roulement arrière du générateur de gaz est caractéristique d'une dégradation sous phénomène de balourd. L'origine du balourd provient très probablement du détachement partiel de la latérite présente dans l'arbre creux. Le balourd a entraîné l'endommagement des éléments tournants du moteur dont les roulements avec génération de limaille qui s'est retrouvée dans le circuit d'huile du moteur et a conduit à l'allumage du voyant d'alarme pendant le vol.

2.5 Opérations de maintenance permettant de lutter contre l'accumulation de latérite

2.5.1 Opération de maintenance standard

Le manuel de maintenance fixe la périodicité de contrôle de l'usure des pales du compresseur axial à 400 ou 750 h en fonction des équipements de l'hélicoptère (filtre anti-sable) et de l'atmosphère où évolue l'hélicoptère.

Cette opération est décrite dans les cartes de travail 72-32-00-280-801-A01 (moteur avionné) ou 72-32-00-280-802-A01 (avec dépose du module 2).

2.5.2 Opération particulière

Le Service bulletin (SB) A292 72 0230 (version originale rédigée en 1998 et dont la dernière mise à jour date de 2001) concerne les moteurs PRE TU 360 qui ont été utilisés en atmosphère poussiéreuse ou si l'historique d'utilisation en atmosphère poussiéreuse n'a pu être déterminé. Il permet en surveillant l'usure des pales du compresseur axial du module 2 de définir si une opération de nettoyage de l'ensemble tournant du générateur de gaz doit être réalisée. L'objectif de ce SB est de lutter contre l'accumulation de latérite dans l'arbre creux qui pourrait créer un balourd et une détérioration du roulement du palier arrière et conduire à un arrêt en vol non commandé du moteur.

Les critères d'usure sont les suivants : usure supérieure à 1 mm pour 1 000 h de fonctionnement ou supérieure à 3 mm.

Une mise à jour (version C) du Service bulletin qui est devenu impératif (SBI) a été publiée en 2012. Cette mise à jour a été faite car la surveillance de l'usure des pales du compresseur axial pouvait dans certains cas ne pas être suffisante. Un critère portant sur les conditions de visibilité dans lesquelles opérait l'hélicoptère a été ajoutée afin de calculer la fréquence de nettoyage de l'arbre creux.

Une directive de navigabilité (référence AD N 2012-0071) publiée par l'AESA reprend le SBI version C et en impose l'application sauf si le moteur avait déjà satisfait aux exigences du Service bulletin dans les versions antérieures.

Le SBI prévoit également que lorsque le moteur revient en atelier (maintenance de niveau 3) si l'arbre creux est accessible alors une inspection et un nettoyage doivent être réalisés. L'accessibilité de l'arbre creux est conditionnée à une opération de maintenance qui nécessite une intervention sur les modules 2, 3 ou 4.

Dans le cas où les critères d'usure ne sont pas atteints, le SBI reste actif et associé au contrôle demandé lors des opérations de maintenance standard dont la périodicité est de 400 h ou 750 h.

Par ailleurs il est précisé que le SBI est à appliquer à chaque changement de configuration d'hélicoptère, de type de mission ou de zone géographique.

2.6 Historiques

2.6.1 Moteur

L'historique du moteur (s/n 9821) montre que :

- ❑ Ce dernier a été assemblé en avril 2002 et installé sur l'hélicoptère AS350B2 immatriculé F-GHUT (puis immatriculé 3A-MTA à compter de 2007) jusqu'en octobre 2010. Le moteur totalisait 2 864 heures de fonctionnement.
- ❑ Il a été installé sur l'AS350B2 immatriculé F-GEDF jusqu'en septembre 2015. L'hélicoptère a opéré à Madagascar durant cette période.
- ❑ Lors de la dépose il totalisait 4 875 heures de fonctionnement.
- ❑ Il a été installé en octobre 2015 sur l'hélicoptère AS350 B2 immatriculé 3A-MLC qui avait été acheminé sur Madagascar.
- ❑ Il a été déposé du 3A-MLC en février 2016 pour y subir une opération de maintenance et réinstallé sur le même hélicoptère en mars 2016.
- ❑ En août 2016, l'hélicoptère est rapatrié de Madagascar vers la France où il arrivera en décembre 2016. Le moteur totalisait 5 713 heures de fonctionnement.
- ❑ D'avril 2017 jusqu'en janvier 2018, l'hélicoptère a opéré en Guyane puis il a été rapatrié en France métropolitaine.
- ❑ En février 2019 le moteur est déposé du 3A-MLC en raison de la présence de limaille sur un bouchon magnétique. À l'issue de l'opération de maintenance et après le remplacement du module 5, le moteur est remonté sur le 3A-MLC en mars 2019. Le moteur totalisait 5 941 heures de fonctionnement.
- ❑ À la date de l'accident le moteur totalisait 5 995 heures de fonctionnement.

2.6.2 Entretien du moteur

Les informations issues de la documentation d'entretien indiquent que les opérations de maintenance du moteur de type visites des 150 heures, 300 heures, 750 heures et 1 500 heures ont été effectuées tout au long de la vie du moteur.

La vérification de l'usure des pales du compresseur ayant une périodicité de 750 h, l'analyse des documents de maintenance s'est focalisée principalement sur ces visites.

L'analyse du livret moteur montre qu'en septembre 2010 lors de l'installation d'un module 3 neuf, l'application du SB A292 72 0230 par Safran Helicopter Engines (UK) relève une érosion des pales de la roue du compresseur axial (module 2) de l'ordre de 1 mm. À cette date, le module 2 totalisait 2 859 heures de fonctionnement. Le niveau d'usure ne rentrant pas dans les critères de détermination d'une périodicité, aucune mention particulière n'a été inscrite sur le livret moteur.

Le livret moteur jusqu'à la date de l'accident ne fait plus mention de la valeur du niveau d'usure par érosion des pales de la roue axiale, ni d'application du SBI A292 72 0230.

La fiche d'exécution⁽⁵⁾ de la tâche de contrôle de l'usure des pales du compresseur axial du module 2 lors des visites 750 heures indique : « *Aire d'atterrissage aménagée* » et est suivie de la mention « RAS » ce qui indique que l'usure était dans la tolérance.

⁽⁵⁾ Tableau regroupant la liste des tâches de contrôle devant être réalisée lors d'une visite et indiquant les conditions particulières applicables, la date d'exécution et les observations éventuelles.

Jusqu'à la date de l'accident, aucune opération sur les modules 2, 3 ou 4 n'a été nécessaire. De ce fait lors des retours en atelier, l'arbre creux n'était pas accessible et seul le contrôle de l'usure des aubes du compresseur axial (module 2) a pu être réalisé. L'accumulation de la latérite n'a donc pas été visuellement détectée.

2.7 Organisation et suivi de la maintenance

Le propriétaire des hélicoptères F-GEDF et 3A-MLC a délégué la gestion de la maintenance et de la navigabilité à un Organisme approuvé de gestion du maintien de la navigabilité (CAMO). Celui-ci a pour rôle d'émettre les ordres de travaux vers les ateliers de maintenance conformément au programme d'entretien de l'aéronef. Il doit aussi s'assurer de l'applicabilité des Consignes de navigabilité (CN) et des SB ou tout autre opération exigible afin de maintenir la navigabilité de l'aéronef.

Durant la période 2012-2019, deux CAMO se sont succédés de 2012 à fin 2014 et de début 2015 jusqu'à la date de l'accident.

2.7.1 Entretien avec les CAMO

L'entretien téléphonique avec les deux CAMO montre que ces derniers avaient bien connaissance du SBI mais que compte tenu des informations dont ils disposaient sur les conditions d'utilisation de l'hélicoptère, ils ont considéré que l'hélicoptère (équipé du filtre anti-sable) évoluait en atmosphère non poussiéreuse. De ce fait, en application du SBI, le programme standard d'entretien était applicable et seule l'opération de contrôle d'usure des pales était réalisée lors des visites 750 heures du moteur.

2.7.2 Examen de la latérite

L'échantillon analysé par l'Institut de Minéralogie, Physique des Matériaux et Cosmochimie (IMPMC) est typique d'un sol ferrallitique de type latérite. Ces sols ferrallitiques couvrent environ 40 % de la surface de Madagascar. La latérite analysée est tout à fait compatible avec celle que l'on trouve abondamment à Madagascar. On ne peut cependant pas exclure totalement que la latérite retrouvée ne puisse pas provenir d'un autre lieu que Madagascar.

3 - CONCLUSIONS

Les conclusions sont uniquement établies à partir des informations dont le BEA a eu connaissance au cours de l'enquête. Elles ne visent nullement à la détermination de fautes ou de responsabilités.

Scénario

Le détachement d'une partie de la latérite, accumulée dans l'arbre creux du module 3 du moteur et non détectée au cours des années précédentes de fonctionnement du moteur, a entraîné un balourd sur les éléments tournants du moteur. Ce balourd a conduit à l'endommagement du roulement arrière du générateur de gaz et la génération de limaille qui a déclenché l'allumage du voyant **MOT.LIM**.

Le pilote confronté à cette alerte pendant le survol d'une région montagneuse hostile a dans un premier temps tenté de rejoindre l'altiport de Megève situé à quelques minutes de vol. L'état du moteur s'étant rapidement dégradé pendant la descente, le pilote a diminué la puissance du moteur pour le soulager et a débuté une autorotation pour atterrir sur une zone dégagée à proximité du col de Véry. Le pilote a tiré sur la commande de pas collectif à l'approche du sol lors de l'arrondi. Cette dernière action a eu pour conséquence une diminution rapide de la vitesse de rotation du rotor principal. L'action à cabrer sur la commande de pas cyclique pendant l'arrondi a entraîné un basculement vers l'arrière du disque rotor qui est venu interférer avec le dessus de la poutre de queue et l'a endommagée.

Facteurs contributifs

L'accumulation de la latérite dans l'arbre creux du module 3 montre que le moteur monté sur les hélicoptères a fonctionné en atmosphère poussiéreuse et très probablement de manière soutenue compte tenu de la quantité de latérite qui a été retrouvée lors de l'examen du moteur. L'évaluation incorrecte par les Organismes approuvés de gestion du maintien de la navigabilité de l'aéronef (CAMO) successifs quant à l'environnement dans lequel a fonctionné le moteur n'a pas permis de mettre en place, comme le prévoit le Service bulletin impératif (SBI) A292 72 0230 version C, une périodicité de nettoyage de l'arbre creux du module 3. En l'absence d'inspection périodique, la latérite a pu s'accumuler.

La détermination de la périodicité de nettoyage de l'arbre creux du module 3 est dépendante des conditions d'utilisation de l'hélicoptère. Le déclenchement du SBI et des opérations associées bien qu'étant de la responsabilité du CAMO, la détermination d'une périodicité de nettoyage (et donc de l'application du SBI) par le CAMO nécessite que les pilotes, les opérateurs et exploitants aient conscience de l'importance de notifier le CAMO des temps d'exposition à la poussière, des évolutions des missions et conditions de vol rencontrées. Il est très probable que cette communication entre les différents acteurs a été défaillante ou incomplète et a conduit les CAMO successifs à sous-estimer les conditions dans lesquelles évoluait l'hélicoptère au cours de ces années.