

BEA

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

www.bea.aero

 @BEA_Aero

RAPPORT D'ENQUÊTE

Accident de l'hélicoptère AIRBUS - AS350 - B immatriculé F-GIBM

survenu le 7 mars 2021
à Touques (14)



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Les enquêtes de sécurité

Le BEA est l'autorité française d'enquêtes de sécurité de l'aviation civile. Ses enquêtes ont pour unique objectif l'amélioration de la sécurité aérienne et ne visent nullement la détermination des fautes ou responsabilités.

Les enquêtes du BEA sont indépendantes, distinctes et sans préjudice de toute action judiciaire ou administrative visant à déterminer des fautes ou des responsabilités.

Table des matières

LES ENQUÊTES DE SÉCURITÉ	2
SYNOPSIS	6
1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE	7
1.1 Déroulement du vol	7
1.1.1 Vols du samedi 6 mars	7
1.1.2 Décollage le dimanche 7 mars	7
1.2 Tués et blessés	7
1.3 Dommages à l'hélicoptère	7
1.4 Autre dommage	7
1.5 Renseignements sur les personnes à bord	8
1.5.1 Pilote	8
1.5.2 Passager	8
1.6 Renseignements sur l'hélicoptère	9
1.6.1 Version et base de certification	9
1.6.2 Dimensions	9
1.6.3 Cellule	10
1.6.4 Moteur	10
1.6.5 Masse et centrage	10
1.6.6 Limitations et performances	10
1.6.7 Maintenance et défauts constatés	11
1.7 Renseignements météorologiques	11
1.8 Aides à la navigation	11
1.9 Télécommunications	12
1.10 Renseignements sur l'hélistrace	12
1.11 Enregistreurs de bord	14
1.12 Renseignements sur le site et l'épave	15
1.12.1 Site de l'accident	15
1.12.2 Renseignements sur l'épave	17
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	21
1.14 Incendie	21
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	21
1.16 Essais et recherches	22
1.16.1 Désolidarisation de la poutre de queue et des sièges	22
1.16.2 Exploitation de données enregistrées	24

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion	27
1.17.1 Renseignements sur les hélisurfaces	27
1.17.2 Pratiques recommandées pour les évolutions depuis un site d'atterrissage en campagne	31
1.17.3 Technique de décollage en hélicoptère	31
1.17.4 Privilèges des instructeurs	32
1.18 Renseignements supplémentaires	32
1.18.1 Témoignages	32
1.18.2 La vue et la vision	33
1.18.3 Visite médicale d'aptitude	35
1.18.4 Influence de l'âge et du vieillissement	35
2 - ANALYSE	36
2.1 Introduction	36
2.2 Atterrissages et décollages en zones exiguës	37
2.3 Limitations de la vision par faibles contrastes et faible luminosité : impact du vieillissement sur la vision lors des phases dynamiques	39
2.4 Instruction en vol	41
3 - CONCLUSIONS	42
3.1 Faits établis par l'enquête	42
3.2 Facteurs contributifs	43
4 - ENSEIGNEMENTS DE SÉCURITÉ	43
5 - RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ	44
5.1 Marge de sécurité sur hélisurface et formation à la pratique des zones exiguës	44
5.2 Tests ophtalmologiques des contrastes, sensibilisation aux conséquences du vieillissement	45
ANNEXES	47

Glossaire

Acronymes	Version Anglaise	Version Française
AESA	European Aviation Safety Agency (EASA)	Agence européenne de la sécurité aérienne
AMC	Acceptable Mean of Compliance	Moyen acceptable de mise en conformité
AME	Aero-medical Examiner	Examineur aéromédical
ATO	Approved Training Organization	Organisme de formation approuvé
ATPL	Airline Transport Pilot Licence	Licence de Pilote de ligne
BPL	Hot air Balloon Pilot Licence	Licence de pilote de ballon à air chaud
BTP	Main Gearbox (MGB)	Boîte de transmission principale
CPL	Commercial Pilot Licence	Licence de pilote commercial
DGAC		Direction générale de l'Aviation civile
DSAC-O		Direction de la sécurité de l'Aviation civile - Ouest
DTO	Declared Training Organization	Organisme de formation déclaré
EHST	European Helicopter Safety Team	
FCL	Flight Crew Licence	Licence d'équipage
FI	Flight Instructor	Instructeur de vol
GNSS	Global Navigation Satellite System	Système mondial de navigation par satellite
HES	Out-of-Ground Effect (OGE)	Hors effet de sol
ISA	International Standard Atmosphere	
LAPL	Light Aircraft Pilot Licence	Licence de pilote privé d'avion léger
MEL	Minimum Equipment List	Liste minimale d'équipement
NCO	Non-Commercial Operations	Exploitations non commerciales
OACI	International Civil Aviation Organization (ICAO)	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
PPL	Private Pilot Licence	Licence de pilote privé
QNH		Calage altimétrique requis pour lire une altitude
RAC		Rotor anticouple
SMUH		Service médical d'urgence par hélicoptère
SPL	Sailplane Pilot Licence	Licence de pilote de planeur
TCM	Technical Crew Member	Membre d'équipage technique
TEM	Threat and Error Management	
UTC	Universal Time Coordinated	Temps universel coordonné
VFR	Visual Flight Rules	Règles de vol à vue

Synopsis

Heure	Vers 17 h 45 ⁽¹⁾
Exploitant	Privé
Nature du vol	Transport pour compte propre
Personnes à bord	Pilote, passager
Conséquences et dommages	Pilote et passager décédés, hélicoptère détruit

⁽¹⁾ Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure locale. Il convient d'y retrancher une heure pour obtenir l'heure UTC en France métropolitaine le jour de l'événement.

Collision avec un arbre lors du décollage d'une hélisurface

Sur une hélisurface privée à Touques, le pilote et le passager se préparent à décoller pour un vol VFR en direction du sud de Beauvais (60) à destination d'une propriété du passager.

Peu après la mise en route, l'hélicoptère est en stationnaire puis monte verticalement face à des arbres dont la cime du plus haut se situe à 23 mètres de hauteur. L'hélicoptère est à environ 19 mètres de haut lorsque les pales du rotor principal heurtent une partie de la ramure. Sous le choc, la poutre de queue se désolidarise, l'hélicoptère tourne sur lui-même en avançant, tombe puis heurte le sol.

La zone d'évolution sur l'hélisurface, choisie la veille de l'accident lors de l'atterrissage, restreignait les possibilités d'évolution en sécurité. Ce choix a probablement incité le pilote à entreprendre un décollage vertical avec peu de marge de sécurité par rapport à la ramure des arbres qui se trouvaient dans l'ombre. L'appréciation de la distance aux obstacles a pu être délicate dans un environnement ombragé, à faible contraste lumineux.

Le BEA a émis deux recommandations de sécurité à destination de l'AESA sur la formation à la pratique en zone exiguë et la sensibilisation aux conséquences du vieillissement sur les performances de l'appareil visuel.

1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

Note : Les informations suivantes sont issues des observations sur le site de l'accident, de l'enregistreur de paramètres Brite Saver, du système de géolocalisation présent à bord de l'aéronef, des témoignages, de vidéos, des enregistrements des radiocommunications ainsi que des données radar.

1.1.1 Vols du samedi 6 mars

Le samedi 6 mars, le pilote, accompagné du passager, décolle vers 9 h 30 de l'héliport d'Issy-les-Moulineaux (92). Après une étape intermédiaire, ils se posent sur l'hélicoptère privée de Framicourt (80) en début d'après-midi.

Ils repartent de cette hélicoptère vers 17 h 45 à destination de l'hélicoptère de Touques⁽²⁾, dans le parc d'une propriété privée. Ils y atterrissent à 18 h 27.

L'approche est débutée selon un cap 150° offrant la trouée la plus dégagée pour accéder au centre de l'hélicoptère, le vent est arrière. Le pilote aux commandes stoppe l'avancement de l'hélicoptère par un cabré à une hauteur de mise en stationnaire de l'ordre de 1 m 50 puis instantanément remet l'hélicoptère à l'horizontale et avance lentement jusqu'au point de poser, dans une zone de l'hélicoptère éclairée par le soleil. Les saumons des pales du rotor principal sont à moins d'un mètre d'un arbre d'environ 4 m 50 de haut, la partie de la ramure face au pilote est dans l'ombre.

⁽²⁾ Lorsqu'il est indiqué « hélicoptère de Touques » dans le rapport, cela fait référence à l'hélicoptère privée utilisée le jour de l'accident.

1.1.2 Décollage le dimanche 7 mars

Le décollage a lieu à 17 h 43 dans des conditions de luminosité proches de celles de l'atterrissage la veille. L'hélicoptère s'élève à la verticale, sans reculer. Une personne au sol indique avoir ensuite vu une diminution de l'assiette de l'hélicoptère avant le contact des pales du rotor principal avec les branches d'un arbre, à une hauteur d'environ 19 m. La poutre de queue se désolidarise de la cellule de l'hélicoptère qui tombe vers l'avant en tournant autour de son axe de lacet jusqu'à l'impact avec le sol.

De la mise en stationnaire à la collision avec les branches, le vol a duré 11 secondes.

1.2 Tués et blessés

	Blessures		
	Mortelles	Graves	Légères/aucune
Membres d'équipage	1		
Passagers	1		
Autres personnes	0		

1.3 Dommages à l'hélicoptère

L'hélicoptère est détruit.

1.4 Autre dommage

Le carburant du réservoir de l'hélicoptère s'est déversé au sol.

1.5 Renseignements sur les personnes à bord

En raison des règles sanitaires liées à l'épidémie de la Covid 19 et en vigueur au moment de l'accident, le pilote et le passager disposaient d'un justificatif de déplacement professionnel durant les horaires du couvre-feu.

Le pilote et le passager étaient amis de longue date.

1.5.1 Pilote

Le pilote, âgé de 74 ans, détenait ;

- ☐ Une licence CPL(H) en cours de validité ;
- ☐ Des qualifications de type Airbus AS350, EC130 et Robinson R22 et R44 toutes valides ;
- ☐ Une qualification d'instructeur de vol hélicoptère FI (H) du 9 août 2020 valide.

Le pilote détenait également une licence ATPL (A) avec entre autres les qualifications de type Airbus A320, A330, A340, A350, toutes valides.

Son carnet de vol n'a pas été retrouvé, ni aucun autre support mentionnant son expérience sur hélicoptère.

Des déclarations lors de contrôles en vol appuyées par l'exploitation du carnet de route de l'hélicoptère F-GIBM sur lequel volait exclusivement le pilote permettent d'estimer que sa pratique du vol en hélicoptère était d'environ :

- ☐ 1 400 heures de vol au total ;
- ☐ 100 h sur hélicoptère AS350 ;
- ☐ 15 heures 45 de vol effectuées entre le 1^{er} janvier et le 14 février 2021 sur l'hélicoptère F-GIBM.

Le pilote était titulaire d'une habilitation lui permettant d'utiliser les hélisurfaces, valide jusqu'au 25 juin 2021.

Son certificat médical d'aptitude de classe 1 était valide avec une limitation VML qui impose en vol le port d'un moyen de correction optique adapté pour corriger la vision de loin, intermédiaire et de près. Cette limitation implique également l'emport d'une paire de lunettes de secours en cabine. Le dossier médical du pilote indique que les troubles de la vision relevés étaient stables depuis plusieurs années. Le pilote ne portait pas de lentilles de contact en remplacement de ses lunettes de vue.

1.5.2 Passager

Le passager, âgé de 70 ans, détenait une licence ATPL(A) avec les qualifications de type en cours de validité de différents avions, notamment Falcon 10 / 20 / 50 / 900 / 2000. Il avait effectué environ 5 000 heures de vol comme pilote.

Un carnet de vol au nom du passager a été retrouvé à bord de l'hélicoptère.

Ouvert le 12 août 2020, ce carnet de vol comportait 49 vols réalisés entre le 18 août 2020 et le 6 mars 2021 représentant un total de 29 heures 26 de temps de vol en double commande, dont 50 minutes de vol de nuit. Dans la case « *remarques et appositions* », il est relevé le nom du pilote de l'accident, sa qualification FI et sa signature. L'ensemble de ces vols correspond à des vols inscrits sur le carnet de route du F-GIBM, celui de la veille de l'accident inclus.

Il ne détenait pas de licence de pilote hélicoptère et il n'était pas inscrit au sein d'un organisme de formation en tant qu'élève pilote d'hélicoptère.

1.6 Renseignements sur l'hélicoptère

L'Airbus AS350 B est un hélicoptère mono-turbine de cinq places d'une masse maximale autorisée de 1 950 kg.

L'hélicoptère appartenait à la société Dolijet fondée et dirigée par le passager. Il souhaitait exploiter l'hélicoptère F-GIBM sur une période d'un an et entrevoyait à l'issue d'acheter un hélicoptère similaire plus récent.

Le pilote volait sur le F-GIBM à titre privé.

1.6.1 Version et base de certification

À sa livraison, en 1981, l'hélicoptère F-GIBM était dans la version D, équipé d'un turbomoteur Lycoming LTS 101. L'hélicoptère a ensuite été transformé en version B, avec l'installation d'un turbomoteur Safran Helicopter Engine de type Arriel 1B.

L'hélicoptère a été équipé des doubles commandes de vol à la demande du pilote.

1.6.2 Dimensions

Les principales dimensions de l'aéronef sont indiquées sur la Figure 1.

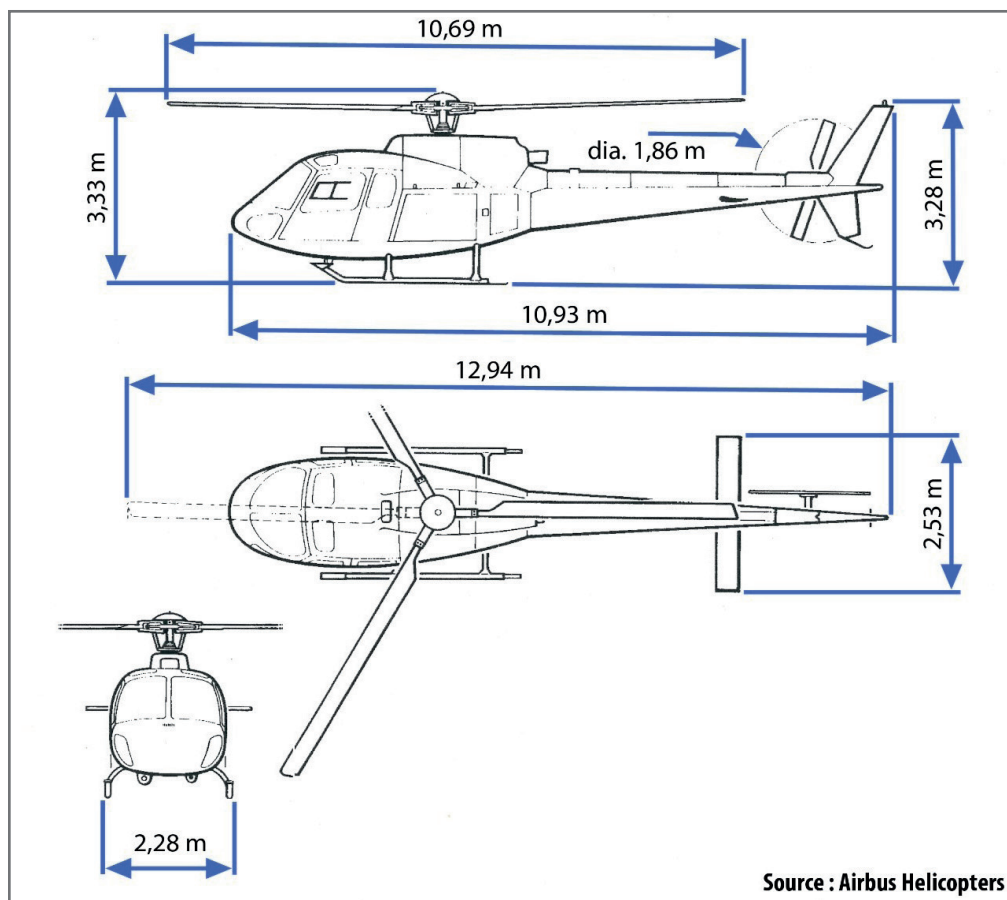


Figure 1 : Dimensions de l'hélicoptère

1.6.3 Cellule

Constructeur	AEROSPATIALE		
Type	AS350 - B		
Numéro de série	1424		
Immatriculation	F-GIBM		
Mise en service	1981		
Certificat de navigabilité	110903	Du 14/04/2010	
Certificat d'examen de navigabilité	FC-001	Du 15/07/2020	Au 13/08/2021
Utilisation au 08/03/2021	8 011,52 heures		

L'hélicoptère était équipé de sièges baquet⁽³⁾ à l'avant et de harnais quatre points. Les ceintures ventrales sont fixées sur le plancher de la cabine, les harnais d'épaule sont solidaires du siège.

1.6.4 Moteur

Constructeur	Turbomeca
Type	Arriel 1B
Numéro de série	375
Date de production	21/07/1980
Temps total (cycles) de fonctionnement au 08/03/2021	9 211,83 heures (14 473 cycles)

1.6.5 Masse et centrage

Avec deux personnes à bord, 75 kg de bagages et 340 litres de carburant soit 63 % du réservoir⁽⁴⁾, la masse de l'hélicoptère au moment du décollage était de 1 718 kg (pour une masse maximale de 1 950 kg). L'hélicoptère était dans les limites de masse et centrage.

1.6.6 Limitations et performances

La section 2.1 « *Limites d'utilisation* » du manuel de vol indique les limites de dénivelé d'atterrissage et d'arrêts sur pente de l'hélicoptère F-GIBM :

- À cabrer : 10° ;
- À piquer : 6° ;
- En latéral : 8°.

Dans les conditions atmosphériques au moment de l'accident et selon les abaques des performances hors effet de sol (HES), l'hélicoptère disposait de suffisamment de puissance pour exécuter un décollage vertical au-delà d'une altitude pression de 10 000 ft.

⁽³⁾ Airbus Helicopters a introduit une nouvelle génération de sièges avant en 1999, désignés « *sièges à haute absorption d'énergie* ». Le F-GIBM n'était pas équipé de ces nouveaux sièges.

⁽⁴⁾ Cette information a été notée sur le livret de l'hélicoptère à la préparation du vol par le pilote.

1.6.7 Maintenance et défauts constatés

Les dernières opérations d'entretien mentionnées dans le livret de l'aéronef ont été réalisées entre le 27 février et le 5 mars 2021. Elles consistaient en :

- ☐ Un échange de la pompe à carburant ;
- ☐ Un échange de la commande flexible de débit ;
- ☐ Un échange du transmetteur de pression carburant ;
- ☐ Un échange du fusible « KLAXON » ;
- ☐ La pose du marchepied court.

Lors de la prise en compte de l'hélicoptère le vendredi 5 mars, le pilote et le mécanicien ont constaté que l'horizon artificiel était hors service. La panne a été confirmée par le pilote lors du vol de mise en place sur l'héliport d'Issy-les-Moulineaux. Il a maintenu ses intentions de vol en précisant qu'il ne lui était pas nécessaire de disposer de cet instrument car il volerait de jour et en conditions VMC.

Lors de ce vol de mise en place, la passagère qui accompagnait le pilote a indiqué que l'horizon artificiel « *vibrait sur lui-même* ».

1.7 Renseignements météorologiques

Des conditions anticycloniques générant un flux modéré de nord-est régnaient sur la région normande du 6 au 7 mars. Les conditions associées étaient un ciel clair et une visibilité supérieure à 10 km.

Les données de vent enregistrées par la station météorologique de l'aéroport Deauville Normandie, située à près de quatre kilomètres dans le nord est du site de l'accident, étaient les suivantes :

- ☐ À l'heure de l'atterrissage le 6 mars : vent moyen de 9 kt du 030°, rafales d'intensité maximale comprise entre 18 à 20 kt ;
- ☐ À l'heure du décollage le 7 mars : vent moyen de 5 à 10 kt du 010°, rafales d'intensité maximale comprise entre 15 à 16 kt, température au sol de 5° C, QNH 1023.

Les relevés de l'azimut et de la hauteur du soleil à l'arrivée et au départ du site de l'accident sont les suivants :

Dates	Hauteur	Azimut
06/03/2021 à 18 h 27	3.19°	258.19°
07/03/2021 à 17 h 43	10.17°	249.87°

Le coucher de soleil était à 18 h 52 le 7 mars 2021.

1.8 Aides à la navigation

Aucune aide à la navigation n'est nécessaire pour utiliser cette hélisurface.

1.9 Télécommunications

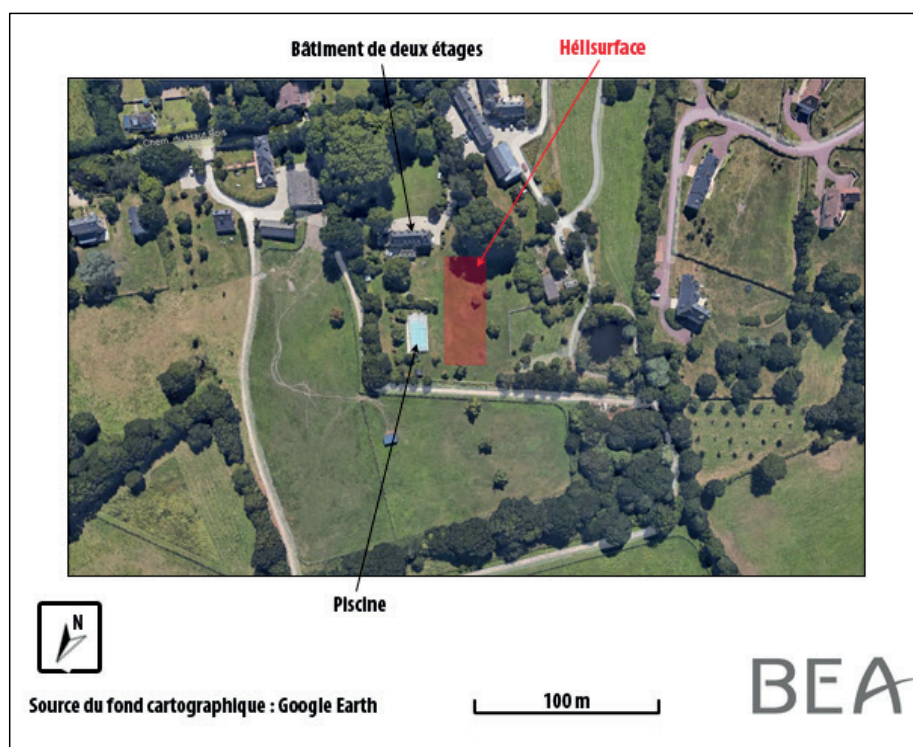
Le pilote a contacté les contrôleurs aériens de l'aéroport Deauville Normandie :

- ❑ Le samedi 6 mars en fin d'après-midi pour indiquer son intention d'atterrir sur l'hélicoptère ;
- ❑ Le dimanche 7 mars avant le vol de l'accident pour indiquer son intention de décoller et de se diriger vers le sud de Beauvais. En retour, les contrôleurs aériens lui ont fourni les indications de vent.

1.10 Renseignements sur l'hélicoptère

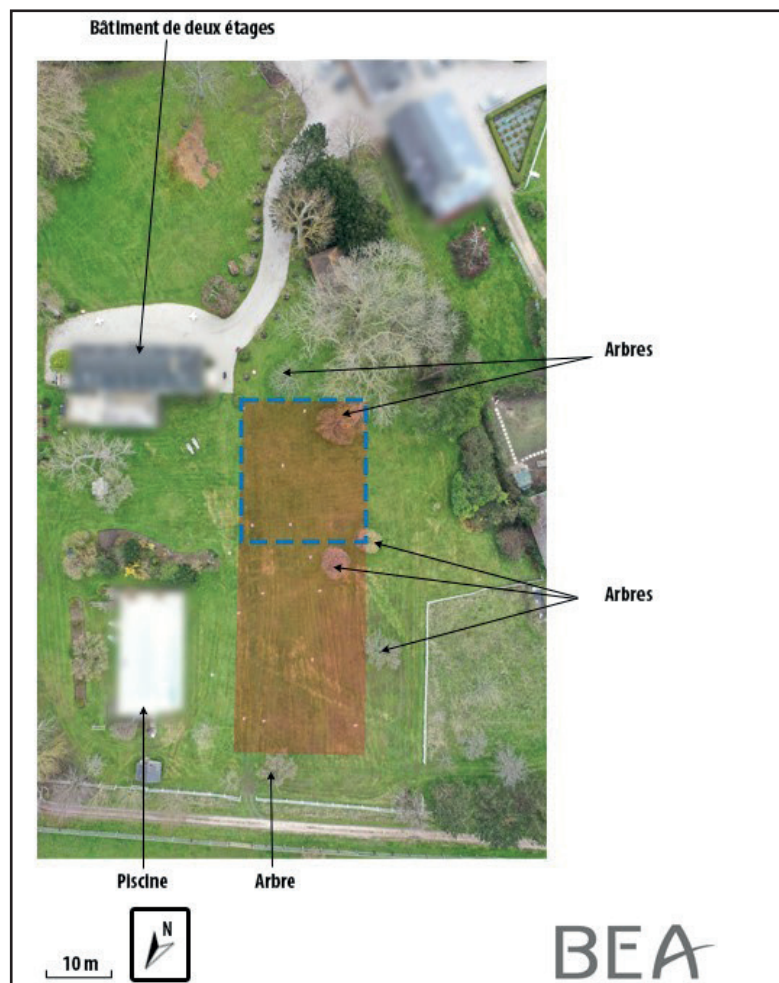
L'hélicoptère est un terrain en herbe situé dans un parc arboré d'une propriété privée.

De forme rectangulaire, elle est orientée sensiblement au 150° et mesure environ 50 m par 18 m dans ses limites les plus grandes. Elle est bordée en partie par des arbres isolés, un bâtiment et une piscine.



Source : Google Earth (l'état de la végétation n'est pas celui du jour de l'accident)

Figure 2 : Vue d'ensemble de l'hélicoptère



Source BEA : Photo aérienne réalisée deux semaines après l'accident au moyen du drone du BEA

Figure 3 : Vue détaillée de l'hélicsurface

Deux zones se dessinent au sein même de l'hélicsurface : l'une la plus en avant dans le sens de l'approche (voir Figure 3, pointillés en bleu) mesure environ 20 m par 18 m, l'autre la plus en arrière mesure 30 m par 18 m. Le sol de la partie la plus basse du terrain et la plus éloignée du bâtiment est spongieux et rend délicat le posé de l'hélicoptère et l'embarquement / débarquement des personnes.

L'hélicsurface présente des variations de pente schématisées sur la [Figure 4](#). Elles restreignent les zones d'atterrissage telles que spécifiées dans le manuel de vol de l'aéronef.

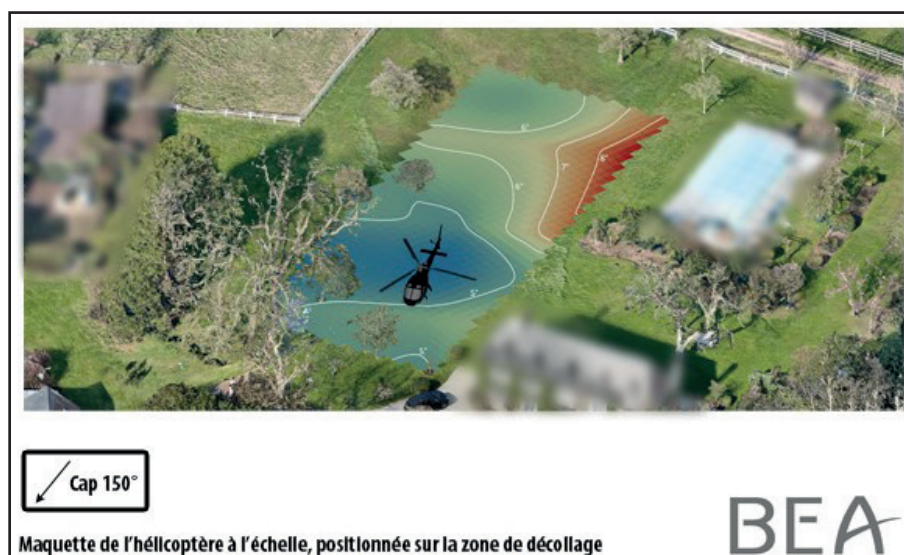


Figure 4 : Site de l'accident avec les zones de pentes

Le dégradé de couleur indique la pente :

- ☐ sur la zone colorée en bleu, la surface est quasiment plane, c'est la partie la plus haute du site ;
- ☐ sur la zone colorée en rouge, la surface présente un versant avec une pente au-delà des limitations de l'hélicoptère (voir § 1.6.6), elle est en contrebas du site.

1.11 Enregistreurs de bord

L'hélicoptère n'était pas équipé d'enregistreur de vol. La réglementation ne l'impose pas.

Le F-GIBM était cependant équipé d'un système *Brite Saver* installé sur la console centrale. Ce système enregistre des paramètres du moteur à des fins d'aide à la maintenance. Les données ont pu être exploitées par le BEA. Aucune indication relative à une défaillance n'a été enregistrée lors de la mise en route et du décollage. Le moteur délivrait de la puissance jusqu'à l'impact avec l'arbre. Les paramètres enregistrés sont portés sur un graphe (voir [annexe 1](#)).

Note :

Deux dépassements de couple-moteur d'une durée d'une et de deux secondes ont été observés lors du dernier vol du samedi 6 mars. Le seuil utilisé pour déterminer les dépassements avait été fixé par l'atelier d'entretien. Les valeurs maximales enregistrées étaient inférieures aux seuils du manuel de maintenance de l'hélicoptère. À la mise sous tension de l'hélicoptère, le jour de l'événement, un voyant ambre EXC devait clignoter sur le boîtier indiquant ce dépassement. L'allumage du voyant est inhibé lorsque l'hélicoptère quitte le sol.

Le BEA a également récupéré les données de positionnement de plusieurs systèmes :

- ☐ Les données d'un système de géolocalisation appartenant à l'atelier d'entretien France Copter. Ce système était stocké dans la valise du pilote. Les données de positionnement (position GNSS, cap, route, vitesse) étaient transmises et enregistrées sur un serveur distant. Ces données étaient sauvegardées pendant deux mois.
- ☐ Les données d'un calculateur de type *PowerFlarm* appartenant au pilote. L'équipement n'était pas embarqué à bord de l'hélicoptère le jour de l'accident. Les vols enregistrés par l'équipement ont été exploités par le BEA.

Les données de vidéos enregistrées à l'arrivée de l'hélicoptère sur l'hélicoptère le 6 mars et au moment de son départ le 7 mars ont également été récupérées. Le résultat de l'exploitation des données de positionnement et des vidéos est fourni au § 1.16.2.

Les tablettes et téléphones portables du pilote et du passager n'ont pas pu être exploités.

1.12 Renseignements sur le site et l'épave

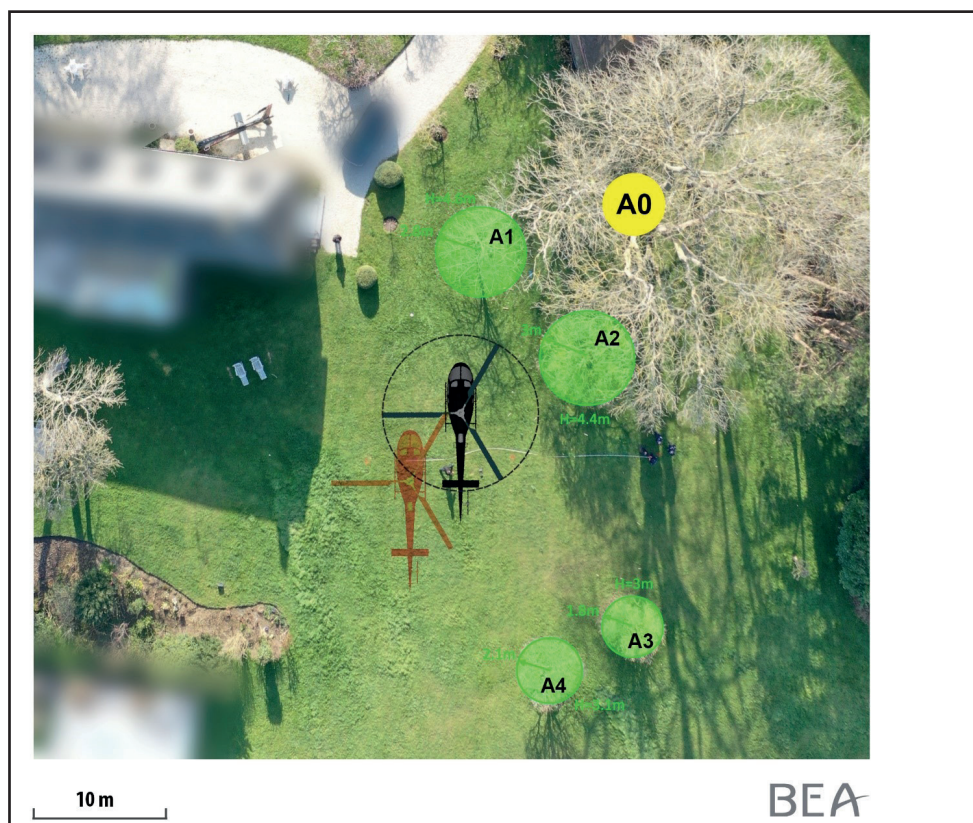
1.12.1 Site de l'accident

Les empreintes des patins des atterrisseurs laissées par l'hélicoptère depuis son atterrissage de la veille (voir Figure 7, traits parallèles marqués en rouge) sont le point de référence pour décrire le site de l'accident.

L'hélicoptère est positionné dans la zone d'environ 20 m x 18 m au sein même de l'hélicoptère telle que décrite au § 1.10. Les empreintes des patins au sol permettent d'estimer que l'hélicoptère était orienté au cap 140°.

Les figures suivantes montrent que le point de décollage se situait à proximité d'arbres de différente hauteur et sans feuillage :

- ❑ En avant et sur le côté droit de l'hélicoptère, deux arbres dont la hauteur maximale est environ 4 m 60, désignés arbitrairement A1 et A2 ;
- ❑ En avant et sur le côté droit de l'hélicoptère et au-delà des deux premiers arbres décrits, un frêne d'une hauteur d'environ 23 m, le plus imposant dans la zone concernée, désigné arbitrairement A0 ;
- ❑ En arrière de l'hélicoptère, deux arbres dont la hauteur maximale est environ 3 m, désignés arbitrairement A3 et A4.



Source BEA : Photo aérienne réalisée le 8 mars 2021 dans la matinée au moyen du drone du BEA

Figure 5 : Aire de décollage et son environnement direct, avec le positionnement d'une maquette de l'aéronef à l'échelle au moment du décollage (noire) et là où il stationnait habituellement (rouge).

Les ombres des arbres ne correspondent pas à celles du jour de l'accident.

La partie sectionnée des branches les plus hautes du frêne se trouve à une hauteur d'environ 19 m. Ces branches se situent toutes dans la même zone restreinte de l'arbre, couvrant un secteur d'environ 140° (vu depuis l'hélicoptère). Lorsque l'aéronef est au sol sur sa zone de décollage, la distance entre la verticale de la partie sectionnée des branches et les extrémités des pales principales est d'environ de 8 m 50.

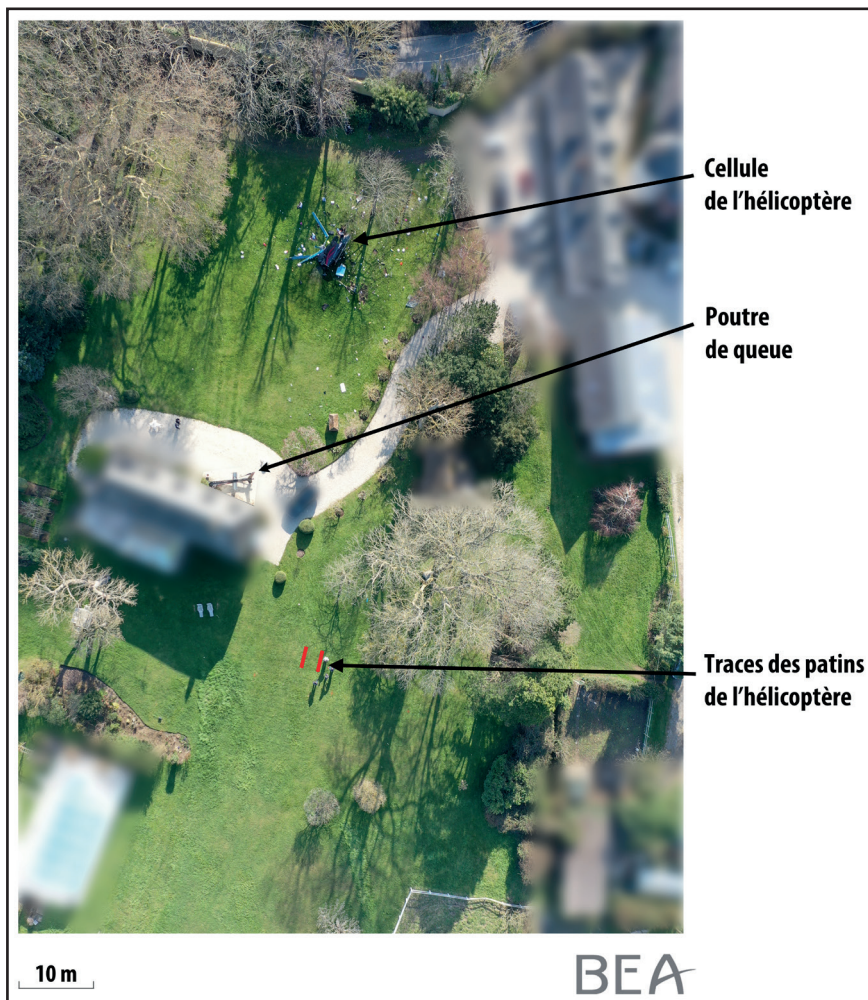


Source BEA : Photos aériennes réalisées les 8 et 9 mars 2021 au moyen du drone du BEA

Figure 6 : Branches d'arbre sectionnées

1.12.2 Renseignements sur l'épave

La cellule de l'hélicoptère a été retrouvée à environ 50 m au-delà du point de décollage, la poutre de queue était séparée de la cellule.



Source BEA : Photo aérienne réalisée le 8 mars 2021 au moyen du drone du BEA

Figure 7 : Vue aérienne du site de l'accident

Les pieds de pales étaient toujours assemblés au moyeu du rotor, lui-même solidaire de la boîte de transmission principale (BTP) et elle-même en place sur le plancher mécanique. Les pales étaient rompues, totalement ou partiellement, à 3 m 70 de leur saumon.

Les trois pales du rotor principal étaient fortement endommagées. Ces endommagements sont la conséquence de la collision des pales avec les branches de l'arbre et de l'impact avec le sol.

Les endommagements consécutifs à la collision avec les branches ont été identifiés sur les pales rouge et jaune sur une longueur d'environ 2 m 60, à partir du saumon des pales. La pale rouge présente au moins sept endommagements, la pale jaune a subi au moins un impact, la pale bleue ne semble pas avoir subi d'impact.

La répartition des endommagements sur les pales du rotor principal tend à montrer qu'ils se sont produits en une seule rotation du rotor. Une succession d'impacts sur plusieurs rotations n'aurait probablement pas laissé la pale bleue sans impact visible.

Les autres endommagements observés sur les pales rouge et jaune et la déformation de la pale bleue sont consécutifs à l'impact avec le sol.

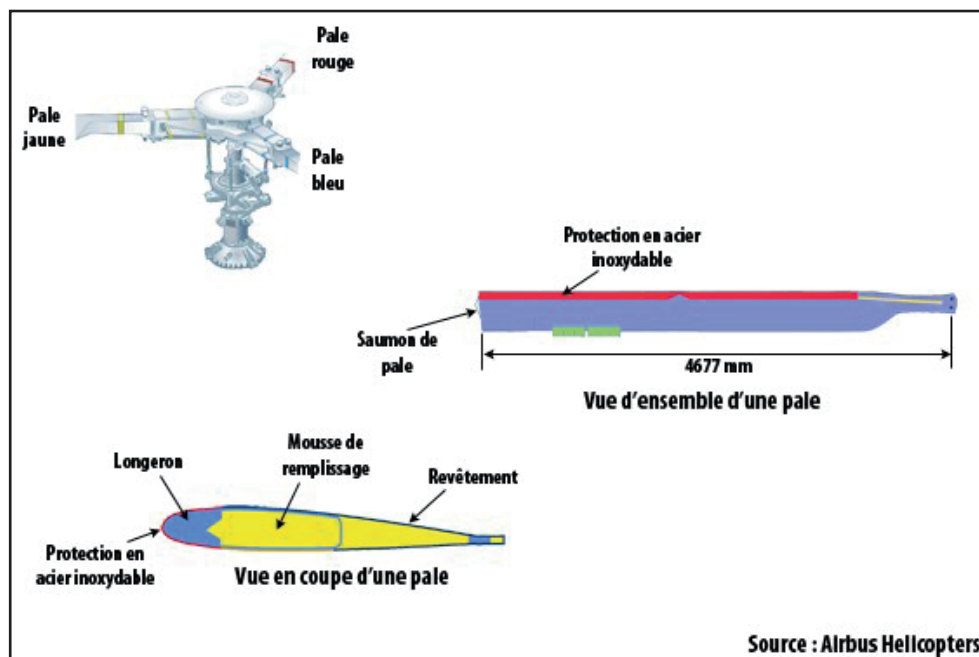


Figure 8 : Éléments du rotor principal de l'hélicoptère AS350

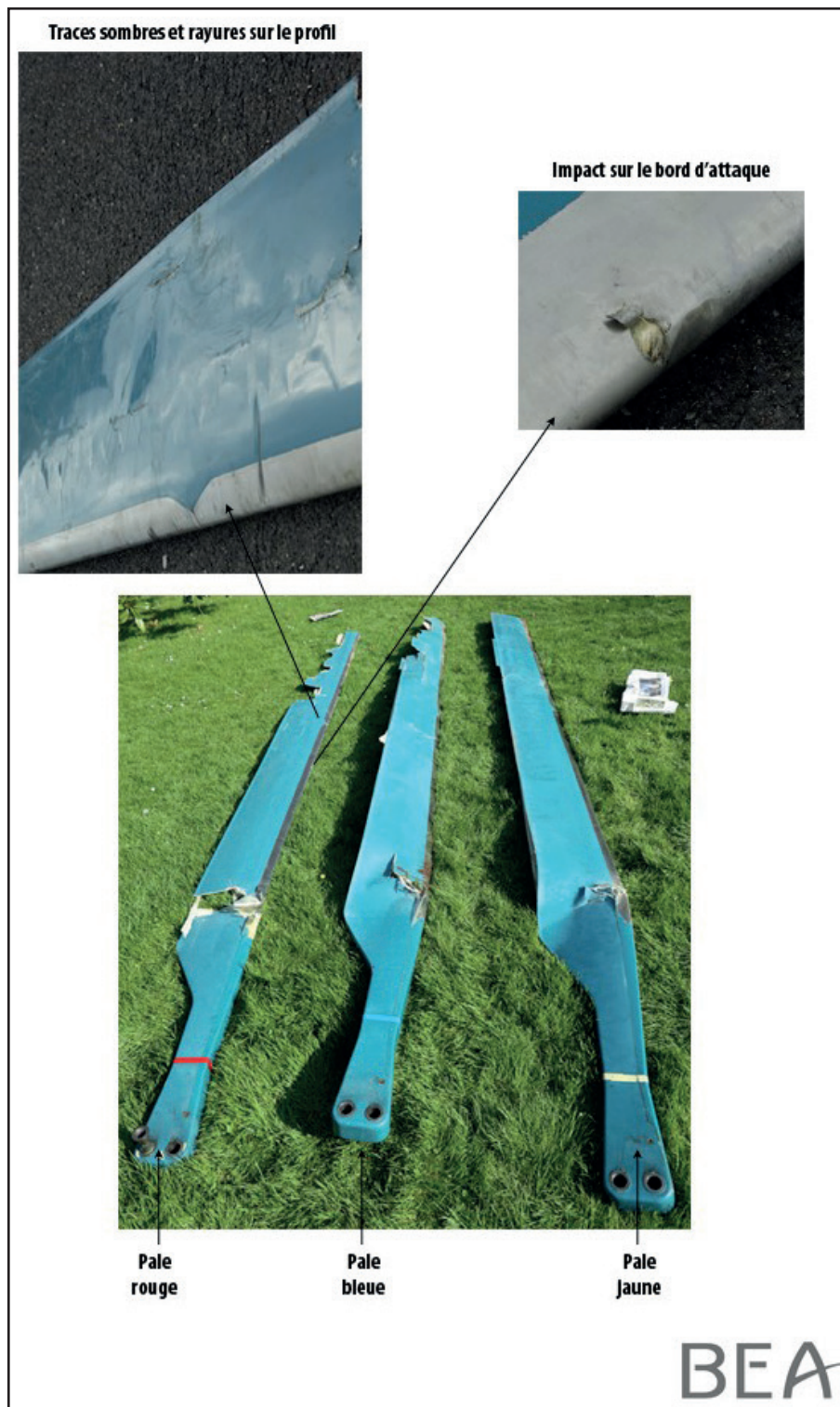


Figure 9 : Pales du rotor principal, face extrados

La zone de séparation de la poutre de queue avec le reste de la cellule se caractérise par :

- ❑ La rupture en cisaillement de 90 % des rivets assurant l'assemblage mécanique entre la poutre de queue et la cellule de l'aéronef. Le revêtement autour des 10 % de rivets restant s'est déformé, conduisant à la séparation de la poutre de queue.
- ❑ La déformation de la partie gauche de la poutre de queue.

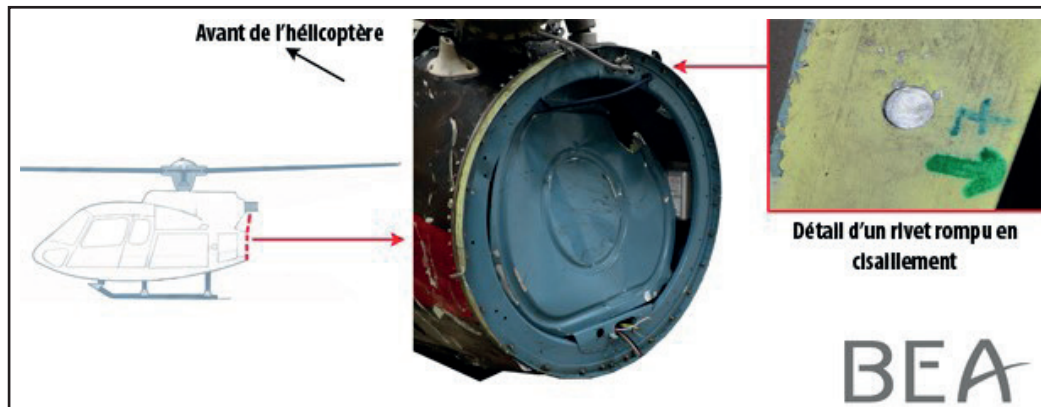


Figure 10 : Liaison entre la poutre de queue et la cellule, côté cellule

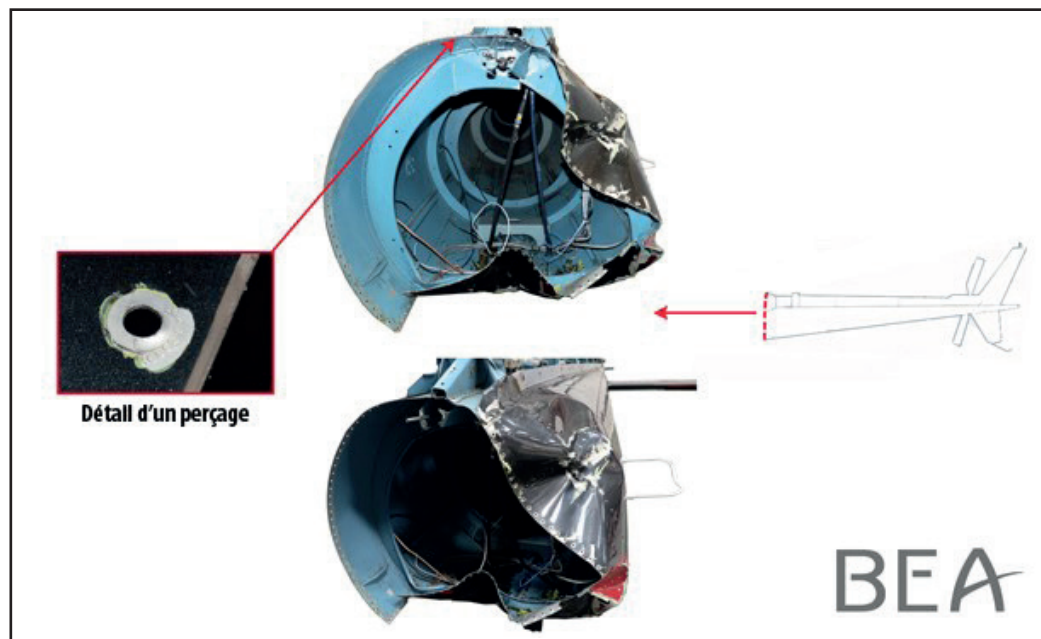


Figure 11 : Liaison entre la poutre de queue et la cellule, côté poutre de queue

L'examen du site et de l'épave a également permis de montrer que :

- ❑ Le moteur délivrait de la puissance lors de l'impact avec les branches et lors de la collision avec le sol.
- ❑ Les commandes de vol du rotor principal étaient continues de la cabine jusqu'à la tête rotor.
- ❑ La commande du rotor arrière était rompue au droit de la zone de désolidarisation de la poutre de queue. Le faciès de cette rupture témoigne d'un effort essentiellement en traction, dépassant la limite à la rupture de la pièce concernée. Cette rupture s'est produite brutalement, lors de la désolidarisation de la poutre de queue, sans endommagement préalable. Les efforts engendrés lors de la désolidarisation de la poutre de queue ont également conduit à un endommagement du plateau de commande du rotor arrière, ce dernier ayant été retrouvé en butée, quasi-coincé sur l'arbre du rotor arrière.
- ❑ Le circuit hydraulique assurant le fonctionnement des servocommandes de l'hélicoptère était fonctionnel. L'ensemble monobloc « *assise/dossier* » composant le siège avant droit a conservé une forme usuelle. Cet ensemble s'était arraché des glissières.
- ❑ L'ensemble monobloc « *assise/dossier* » composant le siège avant gauche était rompu en plusieurs fragments. Les glissières étaient toujours associées aux fragments de l'ensemble monobloc « *assise/dossier* ». Elles ont été arrachées du plancher cabine.
- ❑ Les ruptures et déformations observées sur les fixations des ceintures indiquent que le pilote portait la ceinture ventrale et vraisemblablement les harnais d'épaule. Il n'a pas été possible de déterminer si le passager portait les harnais d'épaule et la ceinture ventrale.

L'examen détaillé des éléments constituant de l'hélicoptère n'a pas mis en évidence d'endommagement préalable à l'accident.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Les examens effectués lors des autopsies sur les deux occupants de l'hélicoptère ne révèlent aucune pathologie susceptible d'expliquer l'accident.

1.14 Incendie

Il n'y a pas eu d'incendie lors de l'accident.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

Les résultats de l'autopsie montrent que les lésions internes subies par des deux personnes à bord, en raison de l'accélération subie par leur corps lors de la collision du rotor principal avec les arbres puis lors de la rotation de la cellule autour de son axe de lacet, ne laissent aucune possibilité de survie.

1.16 Essais et recherches

1.16.1 Désolidarisation de la poutre de queue et des sièges

Des travaux ont été réalisés afin de déterminer les conséquences de la collision des pales du rotor principal avec les branches d'arbre et d'expliquer la séparation de la poutre de queue et celle des sièges avant. Ces travaux sont détaillés en [annexe 2](#).

Ces travaux s'appuient sur :

- ☐ Les constats réalisés sur les composants de l'hélicoptère.
- ☐ Une étude menée par le constructeur de l'hélicoptère.
- ☐ Des modèles dynamiques de calcul. Lors de l'utilisation de ces modèles, diverses hypothèses de travail ont été choisies.

Le schéma ci-dessous illustre la zone de désolidarisation observée de la poutre de queue de la cellule de l'aéronef.

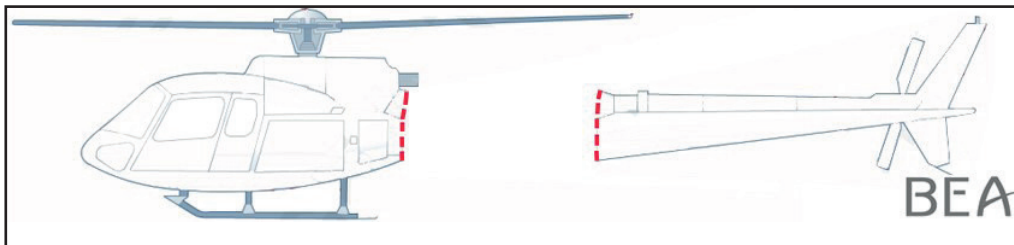


Figure 12 : Schéma de la zone de désolidarisation de la poutre de queue

La liaison entre la cellule et la poutre de queue est réalisée suivant la géométrie ci-dessous :

- ☐ Au droit de la partie arrière de la structure, la cellule présente un cadre, associé à une cornière orientée vers l'arrière, présente sur 360°.
- ☐ La poutre de queue présente également un cadre à proximité immédiate de cette zone de liaison. Le revêtement de la poutre de queue vient en position sur la surface externe de la cornière côté cellule. La jonction est ensuite assurée par 99 rivets.

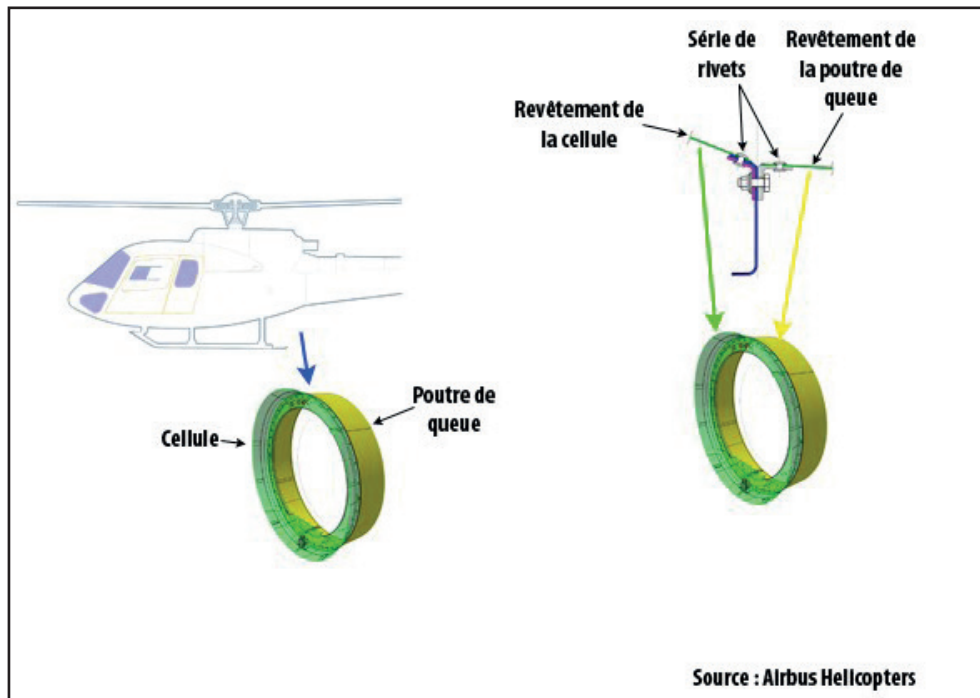


Figure 13 : Schéma de liaison entre la cellule et la poutre de queue

La poutre de queue s'est séparée de la partie principale de l'hélicoptère au droit de cette jonction rivetée. 90 % de ces rivets ont été retrouvés rompus en cisaillement (voir [§ 1.12.2](#)).

La collision des pales du rotor principal avec les branches d'arbre a conduit à un sur-couple instantané et brutal sur le moyeu du rotor principal. Ce sur-couple a engendré, sur l'ensemble des composants de l'hélicoptère, des efforts et des moments qui ont été déterminés à partir de son modèle dynamique.

Le sur-couple a entraîné des efforts, au droit de la liaison rivetée, supérieurs au domaine de résistance en cisaillement du rivet le plus sollicité. Le cisaillement d'un rivet a eu pour conséquence une surcharge des rivets voisins qui se sont rompus à leur tour jusqu'à ce que la section restante de revêtement de poutre de queue se plie.

Les accélérations engendrées lors du sur-couple sur le moyeu du rotor principal ont dépassé les accélérations latérales admissibles par les deux sièges avant, conduisant à leur arrachement du plancher cabine de l'hélicoptère (voir [annexe 2](#) §A2.2).

La séparation de la poutre de queue et l'arrachement des sièges avant sont les conséquences de l'interaction des pales du rotor principal avec les branches d'arbre. Ces endommagements ont été instantanés et brutaux.

1.16.2 Exploitation de données enregistrées

1.16.2.1 Calculateurs de positionnement

L'exploitation des données des calculateurs de positionnement a permis d'identifier des évolutions de l'hélicoptère sur zones exiguës lors d'un vol le 15 décembre 2020. Ce vol correspond à celui réalisé par le pilote du F-GIBM avec un instructeur de la société ABC Hélicoptères. L'instructeur a indiqué au BEA que deux zones d'entraînement distinctes ont été utilisées lors de ce vol. L'une des deux zones est considérée comme la plus simple (Aire d'entraînement niveau standard). L'autre correspond à la phase d'entraînement la plus avancée (Aire d'entraînement – niveau avancé).



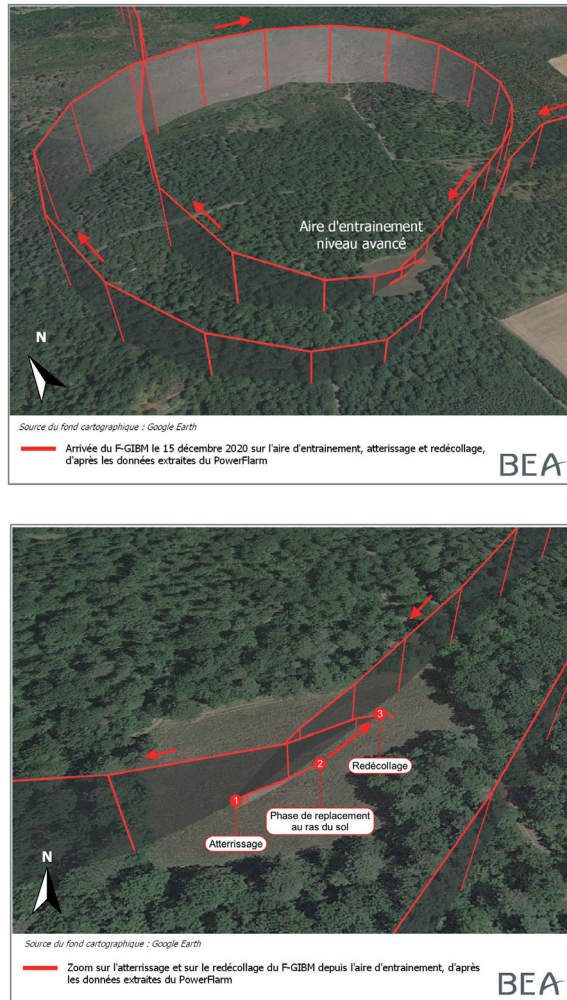


Figure 15 : Atterrissage et décollage au niveau d'une aire d'entraînement niveau avancé
vol du 15 décembre 2020, données extraites du Power Flarm

L'analyse des trajectoires permet de relever que les évolutions au sol, à l'atterrissage et au décollage sur la zone de niveau avancé sont éloignées des obstacles apparents.

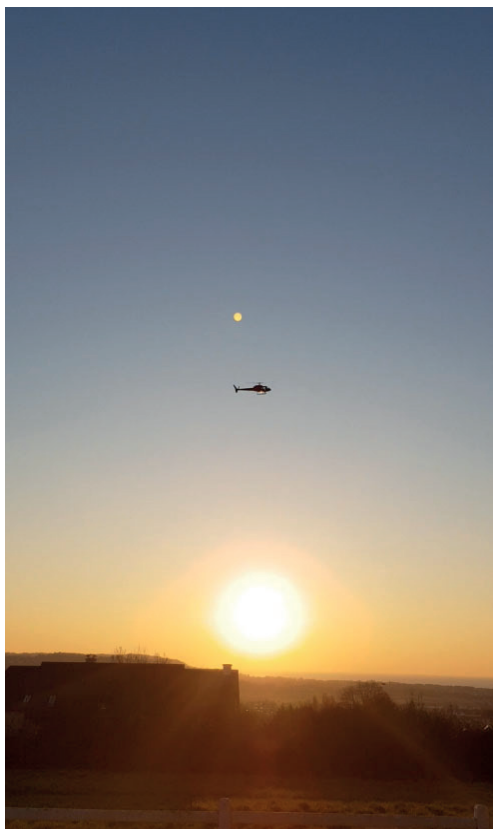
1.16.2.2 Exploitation d'enregistrements vidéo

1.16.2.2.1 Arrivée à l'hélicoptère le samedi 6 mars

Une personne se trouvant en bordure de clôture, à droite de l'hélicoptère dans son sens d'avancement, a filmé et photographié l'arrivée de l'hélicoptère sur l'hélicoptère de Touques. Les éléments suivants ont pu être identifiés :

- ☐ Il était environ 18 h 30 au moment de l'arrivée de l'hélicoptère.
- ☐ Le point d'aboutissement sélectionné lors de l'approche semble être positionné entre la moitié et le dernier tiers vers l'amont de l'hélicoptère, selon un axe orienté sensiblement au 140°.
- ☐ La vitesse d'avancement a été réduite après augmentation de l'assiette de l'hélicoptère, puis sans marquer d'arrêt, l'hélicoptère a été positionné à une hauteur d'environ 1 m 50 et a poursuivi son avancement pour se poser quelques mètres en avant.
- ☐ Les rayons du soleil étaient perpendiculaires à l'axe d'avancement, ils frappaient le côté droit de la cellule de l'hélicoptère.

- ❑ Le point d'aboutissement et le point de poser étaient ensoleillés, la ramure de l'arbre heurté le lendemain était dans l'ombre (côté est par rapport à l'axe de posé).
- ❑ Le pilote était assis à droite conformément aux pratiques, le passager à gauche. La vidéo ne permet pas de distinguer qui pilotait l'hélicoptère.



Source : Témoin

Figure 16 : Photos de l'arrivée de l'hélicoptère le 6 mars

1.16.2.2.2 Départ de l'hélicoptère le dimanche 7 mars

L'exploitation de la vidéo prise par des témoins positionnés en avant à droite de l'hélicoptère permet d'identifier les éléments suivants :

- ❑ Après la mise en route, le pilote assis à droite a réalisé un geste du bras gauche dans une direction qui semble indiquer le sens de décollage et qui peut être interprété par « *tout droit* ».
- ❑ Le pilote ne portait pas de lunettes.
- ❑ L'éclairage par le soleil était quasiment identique à la veille.
- ❑ Le passager assis à gauche a repris de son bras droit le geste du pilote semblant indiquer qu'il collationnait l'intention d'aller « *tout droit* ».
- ❑ Le passager portait des lunettes avec des verres teintés.
- ❑ Le décollage a eu lieu à 17 h 43.



Source : Témoin

Figure 17 : Départ de l'hélicoptère

La montée à la verticale et la collision avec les branches n'ont pas été filmées.

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

1.17.1 Renseignements sur les hélicoptères

1.17.1.1 Cadre réglementaire

L'arrêté modifié du 6 mai 1995 relatif aux aérodromes et autres emplacements utilisés par les hélicoptères⁽⁵⁾ indique que les hélicoptères sont des aires non nécessairement aménagées, localisées en dehors des aérodromes⁽⁶⁾ et qui ne peuvent être utilisées qu'à titre occasionnel. Il précise que le nombre de mouvements (atterrissage et décollage) doit être inférieur à 200 par an et inférieur à 20 par jour pour considérer que les mouvements sont peu nombreux.

Sauf cas particuliers (notamment en agglomération ou aux abords d'un aérodrome), les hélicoptères ne sont pas soumises à une procédure administrative de création. Elles doivent être identifiées à l'avance par le pilote commandant de bord et être accessibles aux services de l'État. L'utilisateur ou l'exploitant doit obtenir l'accord de leurs propriétaires et aviser les services du contrôle de l'immigration et de la lutte contre l'emploi des clandestins lors de leur utilisation⁽⁷⁾.

L'exploitant ou le propriétaire de l'hélicoptère doit également être titulaire d'une habilitation à utiliser les hélicoptères et disposer d'une assurance ou d'un cautionnement suffisant couvrant les dommages causés aux tiers.

L'article 15 de l'arrêté modifié du 6 mai 1995 précise que les hélicoptères sont notamment interdites à l'intérieur des agglomérations.

⁽⁵⁾ [Version en vigueur le jour de l'accident.](#)

⁽⁶⁾ [Article D132-6 du Code de l'Aviation civile](#)

⁽⁷⁾ L'hélicoptère utilisée le jour de l'accident n'avait pas été déclarée à ces services.

L'arrêté précise que les agglomérations visées par cette interdiction sont celles représentées sur la dernière édition de la carte aéronautique au 1/500 000^e OACI. La Direction de la sécurité de l'Aviation civile - Ouest (DSAC-O), compétente pour la zone où est située l'hélicoptère utilisé le jour de l'accident, a indiqué que pour vérifier ce critère, la méthode consiste à placer le point géographique de l'hélicoptère sur la carte aéronautique au 1/500 000^e OACI et à vérifier si l'hélicoptère est effectivement dans une zone d'agglomération sur cette carte. Ainsi, l'hélicoptère utilisé est considéré hors agglomération.



Figure 18 : Carte 1/500 000 aéronautique
Le positionnement de l'hélicoptère est mentionné par le point rouge.
La surface des agglomérations est représentée en jaune.

1.17.1.2 Habilitation à l'utilisation des hélicoptères

Pour la délivrance d'une première habilitation, l'arrêté modifié du 6 mai 1995 précise que le pilote doit justifier d'une expérience minimale de vol de 70 heures et avoir suivi une formation portant sur l'utilisation des zones exiguës.

Les titulaires d'une licence professionnelle de pilote d'hélicoptère, compte tenu de leur cursus de formation et les titulaires d'une licence privée de pilote d'hélicoptère justifiant de 300 heures de vol réalisées en cette qualité sont dispensés de la formation complémentaire aux zones exiguës.

1.17.1.3 Accident de l'hélicoptère Alouette II immatriculé F-GZFS le 7 janvier 2007

Le 7 janvier 2007 en début d'après-midi, le pilote du F-GZFS effectue un décollage vertical d'une hélicoptère. À la fin de la montée, hors de l'effet de sol, le pilote débute une rotation autour de l'axe de lacet par la gauche. L'hélicoptère recule, descend et effectue un virage de 180° toujours en déplacement arrière puis entre en collision avec le sol⁽⁸⁾.

Le pilote âgé de 54 ans détenait une licence de pilote privé d'hélicoptère PPL(H) obtenue en une année de formation. Il avait effectué environ 59 heures de vol, dont 50 min comme commandant de bord dans les 30 derniers jours. Il disposait de l'habilitation préfectorale pour utiliser les hélicoptères.

⁽⁸⁾ [Accident du Sud Aviation SE 313 B Alouette II immatriculé F-GZFS survenu le 07/01/2007 sur la commune d'Arles \(13\).](#)

Le pilote avait déjà pratiqué trois fois cette hélisurface avec un instructeur, c'était la première fois qu'il décollait seul pilote à bord depuis cette hélisurface, de surcroît avec une masse au décollage plus élevée que lors des vols précédents avec instructeur.

L'enquête a montré qu'une expérience limitée quant à l'utilisation des hélisurfaces pouvait être un facteur contributif. Alors que dans le cadre de l'utilisation des altisurfaces, la réglementation exigeait que les pilotes privés avions soient titulaires d'une qualification spécifique (qualification « *roues* » et qualification « *neige* »), elle ne prévoyait rien de tel dans le cadre de l'utilisation des hélisurfaces. En conséquence, le BEA avait recommandé à la Direction générale de l'Aviation civile (DGAC) d'adapter la réglementation relative à l'utilisation des hélisurfaces pour que soit prise en compte l'expérience des pilotes.

En réponse la DGAC a modifié l'arrêté du 6 mai 1995 relatif aux aérodromes et autres emplacements utilisés par les hélicoptères. Depuis juillet 2008, pour la délivrance d'une première habilitation le titulaire d'une licence de pilote d'hélicoptère doit justifier d'un minimum d'heures de vol en qualité de pilote d'hélicoptère et de la possession d'une attestation de formation délivrée par un instructeur de vol hélicoptère (voir § 1.17.1.2).

1.17.1.4 Formation aux zones exigües et aux hélisurfaces

Aspect réglementaire

Le règlement européen consolidé (EU) 1178/2011 dit « *Aircrew* »⁽⁹⁾, dans sa partie FCL (licence d'équipage), indique dans le § FCL.210 (PPL) que l'instruction doit prendre en compte les principes de la gestion des erreurs et des menaces (TEM) et couvrir les opérations en zone exigüe, y compris la sélection et les opérations de et vers des zones non préparées, quel que soit le niveau de licence visée (LAPL, PPL, CPL ou ATPL).

Un syllabus décrit une liste d'exercices, conçue comme un moyen acceptable de mise en conformité (AMC). L'exercice concernant les zones exigües (Exercice 29 pour le PPL(H)) fournit différents éléments à mettre en évidence au cours de l'instruction, en particulier :

- ☐ (A) évaluation de la capacité d'atterrissage et des performances.
- ☐ (M) décollage vertical à partir du stationnaire.

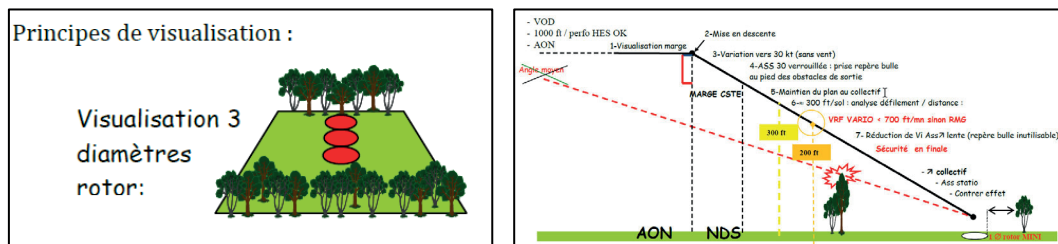
Aucun critère relatif à la dimension de la zone exigüe ou à la distance aux obstacles n'est spécifié. Ces exercices de base sont les mêmes quel que soit le type de licence visée (LAPL, PPL, CPL ou ATPL). L'exigence dans la réalisation de ces exercices est tout de même attendue à un niveau plus élevé en fonction du type de licence présentée. Aucune formation particulière n'est exigée dans la réglementation européenne pour accéder à une zone exigüe.

Exemples de formations

Dans le cadre de l'enquête, deux organismes de formation ont été sollicités pour connaître le contenu de leur formation aux zones exigües.

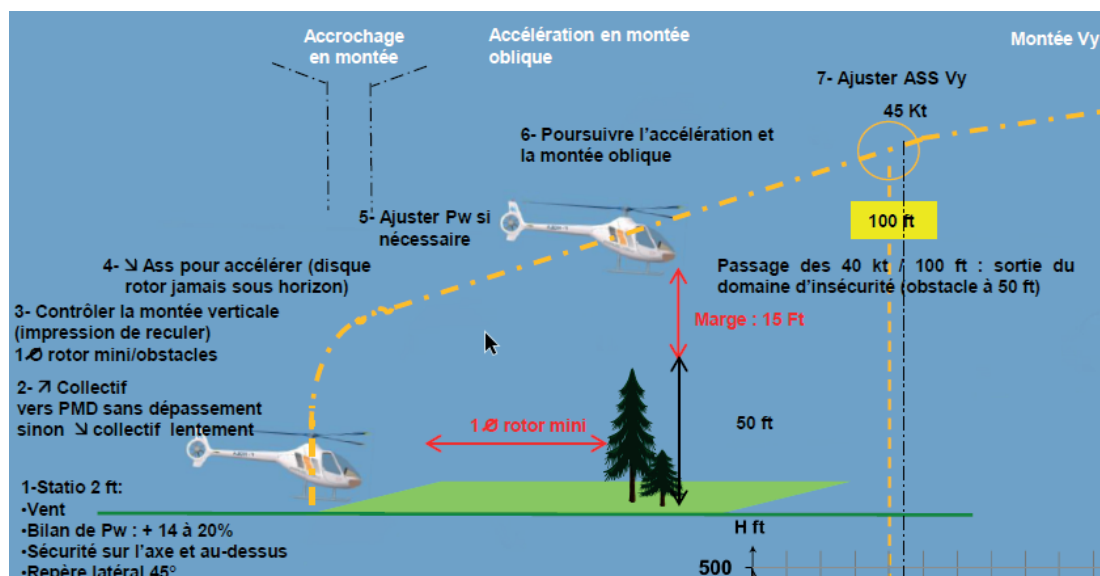
- ☐ Le premier indique avoir édité une fiche pédagogique spécifique. Aucune mention de distance de sécurité par rapport aux obstacles n'est indiquée.
- ☐ Le second a établi dans ses supports pédagogiques une distance minimale de sécurité par rapport aux obstacles d'un diamètre rotor pour les décollages verticaux et les atterrissages.

⁽⁹⁾ Règlement (UE) n° 1178/2011 de la Commission du 3 novembre 2011 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables au personnel navigant de l'aviation civile ([Version en vigueur le jour de l'accident](#)).



Source : HBG FHATO

Figure 19 : Visualisation de dimension lors d'une approche et distance de sécurité



Source : HBG FHATO

Figure 20 : Distance de sécurité préconisée lors du décollage vertical

Par ailleurs, des sociétés assurant des missions de Service médical d'urgence par hélicoptère (SMUH) définissent dans leur manuel d'exploitation des dimensions minimales des sites d'exploitation au sol :

- ☐ De jour, de l'ordre de $2L \times 2L$, L étant la longueur hors tout de l'hélicoptère ;
- ☐ De nuit, de l'ordre de $2L \times 3L$.

Ces dimensions sont établies dans la mesure où le choix du site est laissé à l'initiative du commandant de bord, en fonction du lieu où se trouve la personne à secourir.

Dans le cadre d'une mission SMUH, le commandant de bord est assisté d'un membre d'équipage technique (TCM), entre autres pour la surveillance des obstacles.

À titre de comparaison, cela correspondrait pour l'hélicoptère F- GIBM d'une longueur hors tout de 12 m 94 à une aire minimale d'environ :

- ☐ 26 m x 26 m de jour ;
- ☐ 26 m x 39 m de nuit.

L'hélicoptère de Touques correspond à une surface d'environ 50 m par 25 m avec une surface utilisable pour l'atterrissage de 25 m x 18 m.

1.17.2 Pratiques recommandées pour les évolutions depuis un site d'atterrissage en campagne

La capacité des hélicoptères à s'approcher, manœuvrer, atterrir et décoller d'un site d'atterrissage non préparé est un des aspects opérationnels caractéristique de l'utilisation des hélicoptères. Des guides de bonnes pratiques ont été développés par la communauté aéronautique pour accompagner ce type de manœuvres.

L'AESA fait référence aux travaux du groupe EHEST⁽¹⁰⁾ et en particulier la brochure « OFF AIRFIELD LANDING SITE OPERATIONS⁽¹¹⁾ » qui contient des recommandations et des conseils pour la réalisation de certaines manœuvres en particulier :

- ☐ Le départ depuis une aire non aménagée ;
- ☐ Les manœuvres à l'intérieur de l'aire ;
- ☐ Le décollage vertical.

Ce document décrit les techniques pour manœuvrer l'hélicoptère lors d'évolutions depuis un site d'atterrissage sans préciser de distance de sécurité à observer par rapport aux obstacles.

Dans le cadre du décollage du F-GIBM le jour de l'accident, le pilote avait également la possibilité de reculer sur l'hélisurface pour s'éloigner des obstacles. Toutefois, il est difficile pour un pilote, une fois installé à bord, de décider de reculer vers une zone hors de son champ de vision, même si le pilote a vérifié avant de s'installer aux commandes que cette zone est effectivement dégagée de tout obstacle. Cette technique est par conséquent peu utilisée surtout en zone exigüe.

1.17.3 Technique de décollage en hélicoptère

Le pilote peut choisir entre trois types de décollage en fonction des obstacles. Chaque type de décollage présente des avantages et des inconvénients.

- ☐ Le décollage classique ou normal, appelé également décollage dans l'effet de sol, est le plus couramment utilisé. L'hélicoptère accélère en palier dans l'effet de sol pour atteindre la vitesse de montée. Celle-ci est maintenue lors de la montée initiale. Ce type de décollage permet de garantir une marge de sécurité en cas de panne de moteur et nécessite moins de puissance.
- ☐ Le décollage oblique est utilisé pour survoler des obstacles situés dans la trouée d'envol. L'hélicoptère n'étant plus dans l'effet de sol et ayant une vitesse de translation faible, une réserve de puissance suffisante est nécessaire afin de maintenir une hauteur de sécurité constante lors du décollage. Ce type de décollage implique une bonne connaissance et une bonne expérience des performances de l'hélicoptère piloté.
- ☐ Le décollage vertical, appelé également décollage HES, est généralement utilisé lorsque les obstacles environnants ne permettent pas un décollage vers l'avant. Il est nécessaire de disposer d'une réserve de puissance importante pour effectuer une translation verticale. Lorsque la hauteur de sécurité au-dessus des obstacles est atteinte, l'appareil est mis en translation horizontale. Si le pilote ne peut franchir les obstacles lors de cet exercice, il annule son décollage.

Dans le cas du décollage vertical, pour s'assurer d'une montée verticale et éviter tout obstacle environnant, le pilote doit choisir de bons repères visuels, un devant lui et un sous un angle de 45° par rapport à sa place à bord (à droite si assis à droite).

⁽¹⁰⁾ *European Helicopter Safety Team* : groupe de travail européen regroupant constructeurs et opérateurs pour promouvoir de bonnes pratiques dans la conduite des hélicoptères.

⁽¹¹⁾ <https://www.easa.europa.eu/document-library/general-publications/ehest-leaflet-he-3-helicopter-airfield-landing-sites>

1.17.4 Privilèges des instructeurs

L'exigence réglementaire FCL.900 du règlement Aircrew indique qu'une personne ne peut dispenser de l'instruction en vol sur un aéronef que si elle est titulaire d'une licence de pilote et d'une qualification d'instructeur adaptée à l'instruction dispensée.

Les privilèges d'un instructeur permettent de dispenser une instruction au vol pour la délivrance, la prorogation ou le renouvellement :

- ❑ D'une licence PPL, SPL, BPL et LAPL dans la catégorie appropriée d'aéronef.
- ❑ De qualifications de classe et de type pour les aéronefs mono pilotes monomoteurs, à l'exception des aéronefs complexes hautes performances mono pilotes, d'extensions de classe et de groupe pour les ballons et d'extensions de classe pour les planeurs.

Les entretiens réalisés par le BEA auprès de pilotes qualifiés instructeurs ont révélé que certains d'entre eux s'octroyaient le privilège de proposer à des passagers de prendre les commandes de vol lors de différentes phases de vol, arguant que leur qualification d'instructeur leur permettait de délivrer de l'instruction en toute circonstance avec un aéronef qui dispose des doubles commandes de vol.

Le règlement Aircrew indique que les personnes qui suivent une instruction doivent être inscrites au sein d'un organisme de formation approuvé (ATO) ou déclaré (DTO). Le programme de la formation doit être élaboré dans le but de former à la délivrance, à la prorogation ou au renouvellement d'une licence ou d'une qualification. Ce programme doit être approuvé (ATO) ou déposé (DTO).

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Témoignages

Il ressort des différents témoignages collectés par le BEA les informations suivantes :

Instruction :

- ❑ Le pilote de l'accident avait exprimé son intention de renouveler sa qualification instructeur (FI) dans le but de faire voler en double commande le passager de l'accident.
- ❑ Il avait de même rapporté que le passager de l'accident avait l'intention de s'inscrire dans un ATO.

Pratique de l'hélicoptère de Touques :

Lors de précédents décollages depuis l'hélicoptère de Touques, après un vol stationnaire, le pilote effectuait un demi-tour puis procédait à un décollage vertical à faible hauteur et à une envolée dans le sens opposé à l'arrivée.

- ❑ L'atterrissage sur l'hélicoptère de Touques le 6 mars était le premier aussi près des arbres.
- ❑ Le jour de l'accident, c'était la première fois que l'hélicoptère décollait à la verticale dans le sens de l'arrivée, face aux arbres.
- ❑ Lorsqu'un autre pilote accompagnait le passager, les doubles commandes de vol étaient retirées.

- ❑ Des personnes présentes au sol le jour de l'accident indiquent que le pilote connaissait l'hélicoptère de Touques. Il y serait venu une douzaine de fois en une dizaine d'années avec dans un premier temps un hélicoptère plus léger. Toutefois, il atterrissait plus au sud de la même propriété. Puis, pour limiter les nuisances sonores liées à l'exploitation de l'hélicoptère AS350, l'atterrissage sur la propriété se faisait plus près du bâtiment principal, plus loin du voisinage. Le pilote a pratiqué ce point d'atterrissage quatre à cinq fois, sans être toutefois aussi près des arbres que le 6 mars.
- ❑ Ces mêmes personnes indiquent que généralement le pilote effectuait une approche vers le centre de l'hélicoptère puis atterrissait sur la partie la plus proche des bâtiments qui offrait moins de devers et un sol plus stable car moins spongieux. Ces mêmes personnes indiquent que le pilote avait l'habitude pour quitter l'hélicoptère d'effectuer un demi-tour sur place en stationnaire près du sol puis de monter quelque peu à la verticale pour atteindre une certaine hauteur de sécurité au-dessus des arbres et prendre l'envol dans le sens inverse de celui de l'arrivée.
- ❑ Elles ont rapporté leur crainte que l'hélicoptère heurte un arbre à l'atterrissage la veille du jour de l'accident. Elles ajoutent que ni le pilote ni le passager n'ont fait de commentaire à ce sujet. Elles ne peuvent pas préciser qui pilotait l'hélicoptère lors de l'atterrissage.
- ❑ Au moment de la collision avec les branches de l'arbre, deux personnes au sol se sont éloignées pour se protéger. Aucune d'elles n'a vu la désolidarisation de la poutre de queue de l'hélicoptère ni la collision de la cellule avec le sol.
- ❑ Elles ajoutent avoir couru vers les victimes pour tenter de prodiguer les premiers secours.

1.18.2 La vue et la vision

Le BEA a consulté des spécialistes médicaux de la vision pour comprendre les mécanismes mis en jeu lors de la conduite d'un hélicoptère, en fin de journée, proche de la nuit aéronautique dans les conditions de luminosité de l'accident.

La vue est un sens caractérisé par différentes propriétés des globes oculaires pris en compte séparément ou conjointement. Chacune de ces propriétés est en rapport avec des caractéristiques anatomiques et fonctionnelles de différents constituants de chaque globe ainsi que du degré de conjugaison des deux :

- ❑ L'acuité visuelle de loin, intermédiaire, de près ;
- ❑ La transparence des milieux ;
- ❑ La mobilité oculaire ;
- ❑ La vision binoculaire ;
- ❑ Le champ visuel ;
- ❑ La vision des couleurs.

La vue est également caractérisée par la capacité à accommoder, par la sensibilité aux contrastes et à l'éblouissement. Ces propriétés sont celles retenues par le règlement Aircrew pour l'évaluation ophtalmologique des pilotes.⁽¹²⁾

⁽¹²⁾ Annexe IV Part-MED, MED.B.070 et MED.B.075.

La vision est le résultat de la perception de l'information lumineuse par les yeux et de son traitement par le cerveau. Elle est liée à l'environnement et aux conditions dans lesquels la vue est sollicitée. La vision est divisée en domaines photopique en conditions d'éclairage important (par exemple, la vision diurne avec une forte sollicitations des cônes), scotopique en conditions de faible éclairage (par exemple, la vision nocturne avec une forte sollicitation des bâtonnets) et mésopique pour la vision crépusculaire (combinaison de la vision photopique et scotopique). Aux extrêmes de la journée, a fortiori dans des zones ombragées, la vision mésopique est particulièrement sollicitée.

La vision met en œuvre des processus complexes interdépendants, extrêmement dynamiques comme l'illustrent les mécanismes adaptatifs :

- ❑ L'adaptation à la luminosité repose sur deux systèmes : la variation du diamètre pupillaire et l'adaptation rétinienne. L'adaptation à la luminosité par la réaction pupillaire peut interférer avec la mise au point pour assurer la netteté de l'image selon les caractéristiques de la réfraction. L'adaptation de la rétine aux luminances extrêmes dépend des caractéristiques lumineuses des différentes parties qui composent l'environnement regardé (par exemple celles d'une ramure ombragée sur le fond lumineux du ciel), ainsi que des réactions chimiques au niveau des cellules rétiniennes. Ces dernières peuvent prendre de quelques minutes à quelques heures.
- ❑ L'adaptation à la distance à l'objet, ou mise au point, caractérise le pouvoir d'accommodation. Elle fait intervenir la souplesse du cristallin ainsi que des muscles qui agissent sur lui, mais également le diamètre pupillaire qui a un effet sur la profondeur de champ de l'image optique formée sur la rétine.

Dans le cas de verres solaires sans correction optique, la diminution de la quantité de lumière transmise à la rétine conduit à l'augmentation du diamètre pupillaire ce qui diminue la capacité d'adaptation à la distance de l'objet. Les indices élevés fréquemment adoptés par les pilotes, généralement 3, pour ne pas être éblouis, accroissent l'obscurité des zones les moins éclairées, comme le panneau des instruments ou bien, comme ici, la zone ombragée de l'arbre le plus élevé. Pour les pilotes soumis à la mention VML, l'utilisation de verres solaires non corrigés est proscrite.

De nombreux travaux ont également été menés sur le vieillissement et ses conséquences. L'une des capacités la plus impactée par le vieillissement est la vision, et certains essais montrent le caractère contraignant du contraste. La sensibilité au contraste est un élément fondamental de la vision des motifs et fait référence à la capacité de discriminer des variations de luminance dans une image.

L'acuité visuelle, c'est-à-dire la capacité à discriminer les détails fins d'un objet à 100 % de contraste, va naturellement diminuer. Stable jusqu'à environ 40 ans, l'acuité visuelle diminue de façon linéaire au-delà puis la diminution s'accroît après 70 ans. Cette diminution s'accroît en situation de faible contraste et de faible luminosité.

La sensibilité lumineuse en condition scotopique diminue avec l'âge, se traduisant par un allongement du temps d'adaptation à l'obscurité.

Le vieillissement naturel modifie progressivement les aspects neurophysiologiques, perceptifs et cognitifs de la vision.

1.18.3 Visite médicale d'aptitude

Le paragraphe MED.B.070 du règlement Aircrew et les AMC et guides associés contiennent les exigences relatives aux examens médicaux du système visuel.

La réglementation européenne dispose que l'examen repose sur le recueil des antécédents, l'observations des caractéristiques anatomiques de l'œil et l'évaluation et l'estimation de paramètres qui caractérisent les propriétés de la vue énoncées au § 1.18.2. Il est réalisé dans des conditions normalisées, au moyen d'échelles, d'atlas ou de dispositifs qui permettent des mesures reproductibles et un suivi des pilotes. La mesure de l'acuité visuelle ne constitue qu'un cas particulier d'examen de sensibilité au contraste. En France, ces informations sont colligées pour partie dans le rapport d'examen médical ainsi que dans une fiche intercalaire du dossier médical d'aptitude (voir [annexe 3](#)).

La réglementation impose une évaluation ophtalmologique statique en ce qu'elle n'exige pas expressément la mesure de la capacité d'accommodation, l'évaluation de la sensibilité à l'éblouissement et de la vision de nuit. L'évaluation de la sensibilité aux contrastes en condition mésopique n'est exigée que lors de l'examen complet d'admission. L'examen de routine comprend la possibilité de pratiquer des examens complémentaires sur indication clinique dont le choix incombe totalement à l'examineur aéromédical (AME). L'AMC2 MED.B.070 précise que les conditions qui indiquent un examen ophtalmologique complémentaire comprennent, sans s'y limiter, une diminution substantielle de l'acuité visuelle non corrigée, toute diminution de la meilleure acuité visuelle corrigée et/ou l'apparition d'une maladie de l'œil, d'une blessure à l'œil ou d'une chirurgie de l'œil.

1.18.4 Influence de l'âge et du vieillissement

Les performances de l'appareil visuel varient avec l'âge. Leur dégradation est progressive à partir de la fin de l'adolescence et accompagne le processus de vieillissement. Jusqu'à présent, l'absence de corrélation précise entre l'âge chronologique et l'apparition des modifications liées à l'âge d'une part, et le caractère progressif d'apparition de ces modifications d'autre part a rendu difficile la proposition de règles applicables uniformément aux pilotes afin de maîtriser l'impact du vieillissement sur la sécurité aérienne.

Pourtant, lorsqu'on avance en âge, les délais de traitement de l'information lumineuse sont accrus et les seuils de détection des objets plus élevés. L'acuité visuelle diminue ainsi que la sensibilité de la rétine, la sensibilité aux contrastes, la résistance à l'éblouissement. Ces altérations rendent difficile la détection des éléments de petite taille. L'accommodation décroît pour devenir à peu près nulle aux alentours de 70 ans ; à partir de là, le port de verres correcteurs progressifs devient indispensable en aviation. D'une manière générale, les capacités adaptatives diminuent en vitesse et en intensité. Cela se traduit notamment par une dégradation de la réaction à un stimulus en vision périphérique ainsi qu'une plus grande difficulté à déplacer rapidement son attention d'un objet à un autre (flexibilité).

2 - ANALYSE

2.1 Introduction

La veille du jour de l'accident, le pilote et le passager, amis de longue date, partent en hélicoptère à destination de l'hélicoptère de Touques. Lors de l'approche, le pilote aux commandes s'aligne sur le centre de l'hélicoptère. Le vent provient du secteur arrière. À une hauteur moyenne de mise en stationnaire et sans marquer l'arrêt, il poursuit l'avancement jusqu'au point de poser dans une zone éclairée de l'hélicoptère, près d'une ligne d'arbres. Les saumons de pale se trouvent à moins d'un mètre d'un arbre d'environ 4,5 mètres de hauteur, lui-même positionné devant un arbre de 23 mètres de hauteur. Selon des témoins, c'est la première fois que l'hélicoptère était stationné aussi près des arbres. Il n'a pas été possible de déterminer si l'atterrissage avec une marge aussi faible par rapport aux obstacles était volontaire ou fortuit.

Le 7 mars, jour de l'accident, en fin d'après-midi, les conditions d'éclairement sont quasiment identiques à celles lors de l'approche réalisée la veille. La visibilité est supérieure à 10 km, il n'y a pas de nuage. Le soleil est bas sur l'horizon, les rayons du soleil éclairent le côté droit de l'hélicoptère. Lors du décollage vertical, à une hauteur d'environ 19 m, le rotor de l'hélicoptère entre en collision avec des branches de l'arbre de 23 mètres de hauteur. Le sur-couple engendré par cette collision entraîne le départ brutal de la cellule en rotation en lacet. La poutre de queue de l'hélicoptère se désolidarise de la cellule qui tombe jusqu'au sol en tournant sur elle-même autour de l'axe de lacet.

L'examen de l'épave n'a révélé aucun dysfonctionnement susceptible d'expliquer l'accident.

L'enquête a montré que le pilote du F-GIBM, également instructeur, demandait que les doubles commandes de vol soient installées sur l'hélicoptère lors des vols effectués en compagnie du passager afin d'instruire ce dernier. Un carnet de vol au nom du passager a été retrouvé à bord de l'hélicoptère, et semble attester que les vols réalisés par le passager et le pilote ensemble, sur le F-GIBM, étaient des vols d'instruction prodiguée par le pilote au passager.

L'enquête n'a pas permis de déterminer qui était aux commandes de l'hélicoptère lors de l'atterrissage la veille de l'accident et lors du décollage. Ainsi, le décollage vertical réalisé le jour de l'accident a pu être réalisé :

- ☐ Par le pilote seul ;
- ☐ Par le pilote à des fins de démonstration vers le passager ;
- ☐ Par le passager, sous la supervision du pilote intervenant en tant qu'instructeur.

Dans l'hypothèse d'une démonstration ou d'une instruction, le pilote instructeur devait s'assurer du respect d'une distance de sécurité aux obstacles tout en mobilisant des ressources supplémentaires pour diffuser de l'information vers le passager en situation d'instruction.

L'analyse porte sur les facteurs suivants :

- ☐ Atterrissages et décollages en zones exiguës ;
- ☐ Limitations de la vision par faibles contrastes et faible luminosité : impact du vieillissement sur la vision lors des phases dynamiques ;
- ☐ Instruction en vol.

2.2 Atterrissages et décollages en zones exiguës

Le règlement européen n° 1178/20111, dit Aircrew, dans sa partie FCL indique que l'instruction doit prendre en compte les principes de la gestion des erreurs et des menaces (TEM) comme les dangers que représentent les obstacles. Un pilote doit être instruit à poser en campagne et des exercices sont préconisés afin qu'il puisse atterrir et décoller en sécurité hors aérodrome.

Dimensions et accès

Les différents organismes de formation proposent dans leurs programmes de formation d'aborder les zones d'exercice sur des terrains avec des difficultés croissantes en opérant notamment sur des sites de dimensions de plus en plus réduites. Les techniques pour aborder les sites et les exploiter sont alors de plus en plus exigeantes. La réglementation n'impose pas de dimensions des zones d'atterrissage et décollage pour les pilotes privés alors que les pilotes professionnels peuvent être conduits à respecter des normes de dimensions prédéfinies dans le manuel d'exploitation de la société au sein de laquelle ils travaillent. Le pilote privé se retrouve ainsi libre d'exploiter tout site d'atterrissage sans limite de surface et sans marge de sécurité par rapport aux obstacles.

L'enquête a montré que le site de l'accident est presque six fois plus petit que la zone exploitée lors du dernier entraînement du pilote au poser en campagne. Cette zone déclarée comme zone d'entraînement avancé est dénuée de tout obstacle hormis les lisières qui la bordent.

En 2008, à la suite de l'accident du F-GZFS, la France avait imposé, pour obtenir une habilitation à l'utilisation des hélisturfaces en France, une expérience de vol à travers un quota d'heures de vol effectuées ou de justifier le suivi d'un stage de formation pour pratiquer les zones exiguës. L'expérience, formulée en nombre d'heures de vol, enregistrée par les pilotes ne précise pas leur expertise à la pratique des zones exiguës, en nombre de sites exploités, ni la périodicité de leurs entraînements.

Marges de sécurité par rapport aux obstacles

La réglementation n'exige pas de normes de sécurité en imposant une distance minimale d'évolution par rapport aux obstacles. Le pilote peut donc évoluer sur site proche des obstacles, de l'approche à l'atterrissage, et lors de toute évolution au sol. Il peut alors s'autoriser l'accès à des sites d'atterrissage ne tolérant aucune marge d'erreur vis-à-vis du pilotage ou face à des aléas techniques ou environnementaux. La formation des pilotes n'impose pas de respecter des distances de sécurité, ce sont donc des pratiques qui sont transmises lors de la formation sans références spécifiques. Le 6 mars 2021, lorsque l'hélicoptère était posé, les saumons de pales du rotor principal étaient à un mètre des premiers arbres.

Technicité du décollage vertical

Le décollage vertical, hors instruction, se pratique lorsque le décollage classique n'est pas réalisable. Ce type de décollage nécessite une réserve de puissance importante et une grande rigueur d'exécution.

Le pilote pouvait évoluer sur l'hélicoptère pour entreprendre un décollage classique voire un décollage vertical de faible hauteur et sur l'axe de l'arrivée. Ce type de décollage imposait au pilote une fois en stationnaire de reculer avant de tourner autour de son axe de lacet. Cette manoeuvre de recul est peu usuelle et il est difficile pour le pilote de garantir en permanence une distance de sécurité avec les obstacles situés à l'arrière, le pilote ne les voyant pas.

C'est donc vraisemblablement contraint par l'atterrissage de la veille que le pilote a procédé au décollage vertical. Selon les témoignages, lors des décollages précédents depuis l'hélicoptère, il tournait autour de son axe de lacet puis effectuait un décollage dans le sens opposé à celui de l'arrivée.

Le décollage vertical effectué le jour de l'accident offrait peu de marges de sécurité en raison de la proximité des arbres, avec du vent arrière de surcroît.

Avec une prise de repères devant lui et sous un angle de 45° de part et d'autre, un pilote qui effectue un décollage vertical en zone exiguë doit éviter toute dérive de l'hélicoptère une fois en stationnaire et s'assurer qu'il ne se rapproche pas des obstacles, tout en surveillant ses paramètres de puissance. Il ne doit prendre de vitesse de déplacement vers l'avant qu'une fois l'hélicoptère dégagé de tout obstacle sur sa trajectoire d'envol.

Le jour de l'accident, plus l'hélicoptère montait, plus l'espace face au pilote se dégageait entre l'arbre et le bâtiment, ce qui pouvait inciter le pilote à prendre de la vitesse horizontale alors que l'hélicoptère n'était pas encore au-dessus de la cime de l'arbre le plus haut.

Si le passager avait les commandes de vol dans cette phase du décollage, assis en place gauche, le dégagement entre le bâtiment et l'arbre s'ouvrait encore plus tôt pour lui. De la place gauche et gêné par le plafond de la cabine, il était plus difficile de voir l'arbre à sa droite. De plus, sur son côté gauche il disposait de moins de repères proches et latéraux pour assurer une parfaite verticalité de la montée.

La distance parcourue par l'hélicoptère entre le point de décollage et le point d'impact avec les branches des arbres, environ 8 m 50, suggère qu'indépendamment d'une possible dérive de l'hélicoptère, l'avancement de l'hélicoptère a probablement été volontaire afin de débiter une prise de vitesse horizontale. L'évolution à piquer de l'assiette de l'hélicoptère, observée par un témoin, va dans le sens de cette hypothèse d'une mise en vol d'avancement volontaire.

La proximité des obstacles en bout de pale, le vent arrière et l'environnement de la ramure des arbres dans une zone ombragée, sous faible contraste lumineux, imposaient au pilote de réagir promptement et pertinemment à tout écart de trajectoire. Ceci est d'autant plus vrai s'il se trouvait dans une situation d'instruction délivrée au passager et devait reprendre la main pour corriger des écarts.

Décalage entre l'instruction et les vols opérationnels

L'enquête relève qu'il y a un décalage entre l'instruction délivrée et les vols réalisés par des pilotes dans un cadre opérationnel. La licence de pilote d'hélicoptère offre à son titulaire une liberté d'évolution qui lui permet d'accéder à des sites sans normes de taille et de distance de sécurité, quelle que soit la taille des sites qu'il a pu pratiquer lors de sa formation.

Un stage spécifique de formation aux zones exiguës peut pallier le caractère général de la formation initiale au poser en campagne.

Par ailleurs, certaines contraintes techniques peuvent limiter en tout ou partie l'exploitation de zones, comme les limitations de pente des hélicoptères lorsqu'ils sont posés.

La reconnaissance de site est définie à travers les textes réglementaires et reprise par les différents organismes de formation. Aucun référentiel de taille de site ou de distance de sécurité n'est exigé, laissant à tous les pilotes la libre appréciation de la distance aux obstacles qu'ils souhaitent s'imposer.

À la suite de l'accident du F-GZFS survenu en 2007, la réglementation française a évolué pour associer à l'habilitation à l'utilisation d'hélicoptère une exigence technique d'expérience et de formation portant sur l'utilisation des zones exiguës.

Un guide à destination des organismes de formation qui indiquerait des valeurs de référence de distances aux obstacles adaptées à la formation initiale et la manière de les faire évoluer en fonction de l'expérience et des qualifications du pilote pourrait aider à l'élaboration d'une formation adaptée aux pratiques associées à une zone exiguë.

2.3 Limitations de la vision par faibles contrastes et faible luminosité : impact du vieillissement sur la vision lors des phases dynamiques

Les capacités visuelles évoluent au cours de la vie et se dégradent avec l'âge.

Les pilotes âgés qui suivent une visite médicale professionnelle ou même de loisir peuvent se présenter comme des personnes vivant une activité aéronautique de droit, comme des personnes qui savent faire, et craindre d'être discriminées par l'âge. Il est donc difficile pour un médecin aéronautique d'aborder avec un pilote en demande de certificat d'aptitude les questions d'impact du vieillissement sur ses capacités visuelles sans test à l'appui.

L'aptitude aéronautique est normée et reste garante de la sécurité des vols. Le médecin agréé pourrait appeler des tests spécifiques afin de poser un diagnostic plus aisément sur les conséquences du vieillissement.

Le médecin peut aussi agir au titre de la promotion de la sécurité et du conseil en abordant les baisses de performances générales, ou en invoquant des pratiques qui deviendraient déraisonnables avec le vieillissement, comme évoluer en voltige, faire des vols de longue durée en planeur ou d'atterrir dans des zones exiguës.

Ainsi, à titre d'exemple lors de la visite d'aptitude à la pratique de la haute montagne, le médecin pose son diagnostic à travers de tests spécifiques. La consultation comporte aussi un entretien et un examen clinique. À l'issue, le patient peut obtenir son habilitation avec ou sans restriction. À travers l'entretien, le médecin prodigue des conseils de prévention et de traitement des troubles dont il se sera efforcé de déceler d'éventuels facteurs de risque lors de la visite.

Des modalités d'échange comparables peuvent également être mises en œuvre par l'examineur aéromédical (AME) lors de la visite d'aptitude du pilote : dès qu'il détecte les premiers signes d'altération visuelle associée au vieillissement, l'AME peut sensibiliser le pilote à l'attention que ce dernier doit porter à toute modification, même minime, de ses perceptions, en particulier au moyen d'exemples pris dans la vie courante, et l'inviter à réfléchir sur les limites qu'il pourrait se fixer dans ses pratiques d'activités aériennes.

Vieillesse et perception visuelle

Le vieillissement affecte la perception visuelle de l'environnement. Il s'accompagne d'une diminution du pouvoir d'accommodation et de la vision des contrastes. La durée de la mise au point et de la détection d'objets de petite taille est allongée voire impossible. Il en est de même pour la discrimination d'éléments de tonalités proches, objets sombres dans la pénombre ou objets clairs dans un environnement lumineux ; les contrastes perçus sont atténués voire abolis, réduisant à l'extrême l'environnement à des zones claires ou sombres.

Dans les conditions du jour de l'accident, l'arbre le plus haut a pu s'avérer problématique à deux niveaux pour les occupants.

- ❑ Le premier, du fait que la ramure était dépourvue de feuillage, ce qui rendait difficile d'apprécier le volume réel des branchages les plus fins.
- ❑ Le second, du fait que cet arbre générait une zone ombragée sur la trajectoire de départ, nécessitant une adaptation au contraste d'autant plus rapide que les rayons du soleil étaient perpendiculaires à la portion initiale de cette trajectoire.

Dans ces conditions, il pouvait être difficile pour les occupants d'évaluer les caractéristiques de l'obstacle que l'arbre pouvait constituer, et donc sa distance, et surtout, de disposer du temps nécessaire pour adapter la trajectoire de départ une fois l'obstacle éventuellement détecté.

VML et verres correcteurs, portée pratique

Lorsque l'âge impose de corriger la vision de près, la faible correction est souvent présentée comme une correction de confort. Or, la faiblesse de l'indice numérique de la correction de départ dissimule la complexité des altérations de la vision qui se développent et la nécessité de suivre scrupuleusement les prescriptions pour les opérateurs d'activités à risques. D'une manière générale, la réduction de l'évaluation de la vision à quelques paramètres numériques d'acuité visuelle et la prescription de dispositifs correcteurs occultent l'ampleur de la dégradation de la vision, limitant drastiquement la mise en œuvre de contre-mesures et de stratégies d'adaptation. À partir de là, la dégradation de la vision au fil des années et son caractère progressif et inexorable constitue une sorte de fatalité qui peut confiner le pilote à la passivité. Cette dégradation préjudiciable peut apparaître de manière brutale lors d'approches finales face au soleil ou bien encore en cas de cataracte associée.

La mention « VML » apposée comme limitation de l'aptitude médicale du pilote impose le port de verres correcteurs. L'objectif est de permettre au pilote de percevoir une image nette de loin, de près et entre les deux. Le changement de focale s'opère par le balayage principalement vertical du verre par le globe oculaire. Les mouvements du globe doivent être accompagnés de mouvements de la tête destinés à positionner entre l'œil et l'objet à regarder la zone du verre dont la correction est appropriée à la distance de l'œil au dit objet. Le port de tels verres doit être assidu afin d'automatiser au mieux et au plus vite la stratégie de perception visuelle de l'environnement.

Lorsque la vision de loin est relativement préservée, certains sujets pensent pouvoir omettre de porter des lunettes, sauf à y être contraints par nécessité (lecture de documents de bord ou d'instruments pour les pilotes). Ce choix, formé ici par le pilote, implique nécessairement de tolérer la dégradation significative des visions de près et intermédiaire. Il en résulte que, contrairement à un sujet qui n'a pas besoin d'une telle correction, il est plus difficile de détecter et d'identifier un objet apparemment mobile qui « *entrerait* » dans le champ de vision. Ainsi la surveillance des paramètres de vol et des obstacles extérieurs lors du décollage a pu être ralentie par le temps d'adaptation induit par l'alternance entre vision intermédiaire et vision de loin.

Examen médical d'aptitude et vieillissement « *visuel* »

L'examen ophtalmologique pratiqué par l'AME est identique d'une visite médicale révisionnelle à l'autre et repose principalement sur l'acuité visuelle dans des conditions données de contraste. Cela a deux conséquences préjudiciables à la sécurité des vols.

La perception des contrastes peut n'être évaluée que lors de l'examen d'admission en dépit du rôle essentiel qu'elle joue tout au long du parcours aéronautique d'un pilote et de la dégradation qu'elle subit avec l'âge. De ce fait, le pilote peut être rassuré à tort par l'évaluation de son acuité visuelle sans mesurer l'impact, sur ses performances et la sécurité des vols, de sa dégradation de la perception des contrastes.

Il en est de même pour la diminution de la capacité d'accommodation et son corollaire l'obligation du port de correction optique qui ne sont pas mieux comprises.

2.4 Instruction en vol

L'instruction est une pratique règlementée qui organise la formation des pilotes. Cette formation est confiée à des instructeurs (FI) dont l'enquête a montré que certains peuvent enseigner le pilotage en dehors de toute structure, sans progression formalisée, ni diplôme délivré.

L'enquête a révélé que le pilote du F-GIBM, également FI, demandait que les doubles commandes de vol soient installées sur l'hélicoptère lors des vols effectués en compagnie du passager afin d'instruire ce dernier. De plus un carnet de vol au nom du passager et retrouvé à bord de l'hélicoptère, semble attester que l'ensemble des vols réalisés par le passager et le pilote ensemble, sur le F-GIBM, étaient des vols d'instruction prodigués par le pilote au passager.

L'enquête n'a pas retrouvé de livret de progression ou de document susceptible de permettre de déterminer les conditions dans lesquelles les séances étaient organisées, d'évaluer le niveau du passager ni de savoir si le vol de l'accident s'inscrivait dans ce contexte. Le passager n'était pas inscrit dans un ATO ou DTO.

3 - CONCLUSIONS

3.1 Faits établis par l'enquête

- ❑ Le pilote détenait une licence de pilote commercial hélicoptère CPL(H) et une qualification d'instructeur de vol hélicoptère, toutes valides.
- ❑ Le pilote détenait un certificat médical en cours de validité assorti d'une restriction relative au port obligatoire de verres correcteurs en vol.
- ❑ Le pilote ne portait pas de lunettes lors du décollage le jour de l'accident.
- ❑ Le passager portait des lunettes de protection solaire.
- ❑ Le pilote était familier de la pratique de l'hélicoptère de Touques.
- ❑ Un carnet de vol au nom du passager a été retrouvé avec un nombre d'heures de vol d'instruction cohérent avec celui du carnet de route de l'hélicoptère.
- ❑ Les heures de vol inscrites dans ce carnet de vol étaient signées par le pilote en tant qu'instructeur de vol hélicoptère FI(H).
- ❑ Le passager ne détenait pas de licence de pilote de vol hélicoptère, mais une licence de vol avion et un certificat médical à sa pratique en cours de validité.
- ❑ Le pilote était âgé de 74 ans et le passager de 70 ans.
- ❑ L'hélicoptère était équipé des doubles commandes de vol.
- ❑ L'horizon artificiel de l'hélicoptère était hors service. Il n'était pas nécessaire pour entreprendre un vol VFR.
- ❑ L'enquête n'a pas permis de déterminer qui était aux commandes de l'hélicoptère lors du décollage de l'hélicoptère le jour de l'accident et lors de l'atterrissage la veille.
- ❑ La veille de l'accident, le point d'aboutissement de la trajectoire d'approche correspondait au centre de l'hélicoptère. Le pilote aux commandes a poursuivi l'avancement jusqu'au point de poser au plus près des arbres.
- ❑ Une fois au sol, moteur arrêté, le saumon d'une des pales se trouvait à environ un mètre d'un arbre de 4 mètres 40 de hauteur. L'enquête n'a pas permis de déterminer si l'atterrissage avec une telle distance à l'arbre était intentionnel ou fortuit.
- ❑ La réglementation n'impose pas de règles de distance de sécurité par rapport aux obstacles pour les hélicoptères.
- ❑ Lors du décollage le jour de l'accident, les conditions météorologiques étaient comparables à celles de l'atterrissage la veille.
- ❑ Le soleil était bas sur l'horizon et travers droit de l'hélicoptère.
- ❑ Les arbres présents devant l'hélicoptère étaient sans feuilles et dans l'ombre.
- ❑ Avant le décollage, moteur et rotor tournant, le pilote a indiqué par un geste du bras gauche un décollage vers l'avant.
- ❑ L'hélicoptère, posé dans la partie au soleil du parc, a décollé verticalement.
- ❑ La hauteur atteinte par l'hélicoptère n'a pas dépassé la cime de l'arbre le plus haut à proximité.
- ❑ L'hélicoptère disposait de suffisamment de puissance pour décoller verticalement jusqu'à une hauteur permettant de s'affranchir des obstacles.
- ❑ L'hélicoptère s'est déplacé sur une distance d'environ 8 m 50 et deux pales sont entrées en collision à une hauteur d'environ 19 m avec des branches d'un arbre qui culminait à 23 m.
- ❑ La violence du mouvement de rotation de la cellule résultant de la collision du rotor avec les branches ne laissait aucune possibilité de survie aux deux personnes à bord.

- ❑ Dès la collision des pales du rotor principal avec les branches de l'arbre, les sièges du pilote et du passager se sont désolidarisés du plancher, la liaison de la poutre de queue avec la cellule de l'hélicoptère s'est rompue et la cellule est tombée en tournant sur elle-même jusqu'à entrer en collision avec le sol 50 m en avant du lieu de décollage.

3.2 Facteurs contributifs

La perte de contrôle de l'hélicoptère lors du décollage résulte de la collision de pales du rotor principal avec un arbre situé à proximité du lieu de décollage de l'hélicoptère. La zone d'évolution sur l'hélicoptère, choisie la veille de l'accident lors de l'atterrissage, restreignait les possibilités d'évolution en sécurité. Ce choix a probablement incité le pilote à entreprendre un décollage vertical avec peu de marges de sécurité par rapport à la ramure des arbres qui se trouvaient dans l'ombre.

L'appréciation de la distance aux obstacles a pu être délicate dans un environnement ombragé, à faible contraste lumineux. En particulier, ont pu contribuer aux difficultés de détection des branches d'arbres qui se trouvaient dans l'ombre :

- ❑ L'absence de port de verres correcteurs par le pilote.
- ❑ Une sensibilité aux contrastes atténuée avec l'âge .

En l'absence de critères relatifs aux distances aux obstacles à prendre en compte non seulement lors des évolutions sur les hélicoptères en campagne mais aussi lors la formation à la pratique des zones exiguës, les pilotes peuvent ne pas disposer de références de sécurité lors de l'utilisation d'aires non aménagées et exiguës.

Il n'a pas été possible de déterminer si le pilotage a été réalisé dans le cadre d'une instruction et qui était aux commandes de l'hélicoptère lors du décollage.

De surcroît, le port par le passager de lunettes avec des verres teintés n'était pas de nature à faciliter la détection des objets en situation de faible contraste et de faible luminosité.

4 - ENSEIGNEMENTS DE SÉCURITÉ

Instruction réalisée en dehors d'un organisme agréé

L'instruction est une pratique règlementée qui organise la formation des pilotes. Cette formation est confiée à des instructeurs (FI) dont l'enquête a montré que certains peuvent enseigner le pilotage en dehors de toute structure, sans progression formalisée.

L'enquête a révélé que le pilote du F-GIBM, également FI, avait demandé que les doubles commandes de vol soient installées sur l'hélicoptère lors des vols effectués en compagnie du passager et un carnet de vol au nom du passager a été retrouvé dans l'hélicoptère mentionnant les heures de vol effectuées en double commande. Le pilote a ainsi vraisemblablement assuré de l'instruction au bénéfice du passager, propriétaire du F-GIBM, lors de vols privés.

Cette instruction effectuée en dehors d'un organisme agréé a pu priver l'instructeur et le pilote en situation d'instruction d'une progression structurée. Un cadre d'instruction structuré, permettant une acquisition progressive des compétences et la réalisation de manœuvres dont la difficulté est adaptée au niveau de compétence atteint, peut apporter un meilleur niveau de sécurité.

5 - RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

Rappel : conformément aux dispositions de l'article 17.3 du règlement n° 996/2010 du Parlement européen et du Conseil du 20 octobre 2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile, une recommandation de sécurité ne constitue en aucun cas une présomption de faute ou de responsabilité dans un accident, un incident grave ou un incident. Les destinataires des recommandations de sécurité rendent compte à l'autorité responsable des enquêtes de sécurité qui les a émises, des mesures prises ou à l'étude pour assurer leur mise en œuvre, dans les conditions prévues par l'article 18 du règlement précité.

5.1 Marge de sécurité sur hélisurface et formation à la pratique des zones exiguës

La réglementation attire l'attention des pilotes au sujet des obstacles lors de l'utilisation des hélisurfaces et des zones exiguës, sans fournir pour autant de références à des distances de sécurité. Des opérateurs commerciaux imposent à leurs pilotes dans leur manuel d'exploitation des dimensions (largeur / longueur) pour des sites d'atterrissage non reconnus, définies à partir de la longueur hors-tout de l'hélicoptère ou de son diamètre rotor.

La formation des pilotes d'hélicoptère à l'atterrissage en campagne et à la pratique des hélisurfaces est hétérogène et peu précise en termes de marges de sécurité par rapport aux obstacles.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **en l'absence de références relatives aux marges de sécurité par rapport aux obstacles lors de l'utilisation d'hélisurfaces ou de zones exiguës pour les exploitations non commerciales (NCO) ;**
- **considérant la diversité des hélisurfaces et zones exiguës utilisées en NCO par des pilotes avec des expériences et compétences variées ;**
- **considérant la difficulté d'associer une expérience de vol mesurée en heures de vol à une expérience pratique d'opérations en zones exiguës ;**
- **considérant que des sociétés en exploitation commerciale imposent à leurs pilotes dans leur manuel d'exploitation des dimensions pour des sites d'atterrissage non reconnus ;**

L'AESA publie un guide à destination des organismes de formation qui indique des valeurs de référence de distances aux obstacles adaptées à la formation initiale et la manière de les faire évoluer en fonction de l'expérience et des qualifications du pilote [Recommandation FRAN 2022-001].

5.2 Tests ophtalmologiques des contrastes, sensibilisation aux conséquences du vieillissement

L'âge physiologique est à décorrélérer de l'âge chronologique.

Lorsqu'on avance en âge, les délais de traitement de l'information lumineuse sont accrus et les seuils de détection des objets plus élevés. L'acuité visuelle diminue ainsi que la sensibilité de la rétine, la sensibilité aux contrastes et la résistance à l'éblouissement. Ces altérations rendent difficile la détection des éléments de petite taille.

Le jour de l'accident, le pilote de 74 ans et le passager de 70 ans étaient face à un arbre dont la partie de la ramure heurtée par le rotor principal était dans l'ombre. L'hélicoptère et la cime des arbres étaient éclairés par les rayons rasants du soleil sous un ciel clair sans nébulosité. Dans ces conditions, il était difficile aux deux personnes à bord de détecter les obstacles immobiles que représentaient les branches sans feuille de l'arbre dans un secteur ombragé à faible contraste lumineux, en présence de zones plus éclairées dans le champ de vision.

De plus, l'accommodation décroît pour devenir à peu près nulle aux alentours de 70 ans ; à partir de là, le port de verres correcteurs progressifs devient indispensable en aviation. D'une manière générale, les capacités adaptatives diminuent en vitesse et en intensité. Cela se traduit notamment par une dégradation de la réaction à un stimulus en vision périphérique ainsi qu'une plus grande difficulté à déplacer rapidement son attention d'un objet à un autre (flexibilité).

La vision n'est pas la seule fonction à être affectée par le vieillissement. Les réponses psychomotrices le sont également en rapidité et en qualité. Il en résulte que la réponse à un stimulus visuel est altérée dans sa globalité. Pour des tâches qui requièrent finesse et habileté, comme le décollage en hélicoptère d'une zone exiguë, une formation adaptée et l'expérience de ces situations peuvent limiter l'impact du vieillissement sur leur réalisation en sécurité, sous réserve que les pilotes concernés aient conscience de ces effets du vieillissement et des limites des mécanismes de compensation qu'ils peuvent mettre en oeuvre.

Bien que la réglementation actuelle n'interdise pas à l'examineur aéromédical (AME) d'informer les pilotes de ce processus, il paraît nécessaire de fournir à l'AME un cadre lui permettant de caractériser au besoin les prémices de cette dégradation pour lui permettre d'aborder plus librement avec les pilotes les conséquences du vieillissement sur leurs activités aériennes.

Cette information est au cœur du rôle de sensibilisation et de promotion de la sécurité que peut avoir un AME.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **Considérant que l'une des conséquences physiologiques les plus caractéristiques des prémices du vieillissement est l'altération de la vision ;**
- **Considérant que l'âge chronologique est à décorrélérer de l'âge physiologique ;**

- Pour caractériser l'ensemble des performances de la vision d'un pilote, qui se dégrade irrémédiablement avec l'âge et dans lequel l'acuité visuelle n'est qu'un élément ;
- Considérant que la réglementation peut inciter les AME à limiter la visite aéromédicale à un examen dont le résultat se réduit à une mention d'aptitude ou d'inaptitude, au détriment de la sensibilisation et la promotion de la sécurité en direction du pilote, lorsque celui-ci satisfait aux critères d'aptitude.

L'AESA inclue dans la partie MED du règlement (UE) n° 1178/2011 un guide ou moyen de mise en conformité (AMC) acceptable proposant un module de sensibilisation qui inciterait les AME à aborder librement, lors des visites de renouvellement, les conséquences physiologiques du vieillissement, en s'appuyant notamment sur un examen d'évaluation de la sensibilité aux contrastes, dans un objectif de promotion de la sécurité [Recommandation FRAN 2022-002].

ANNEXES

Annexe 1

Données issues du Brite Saver – Vol de l'accident

Annexe 2

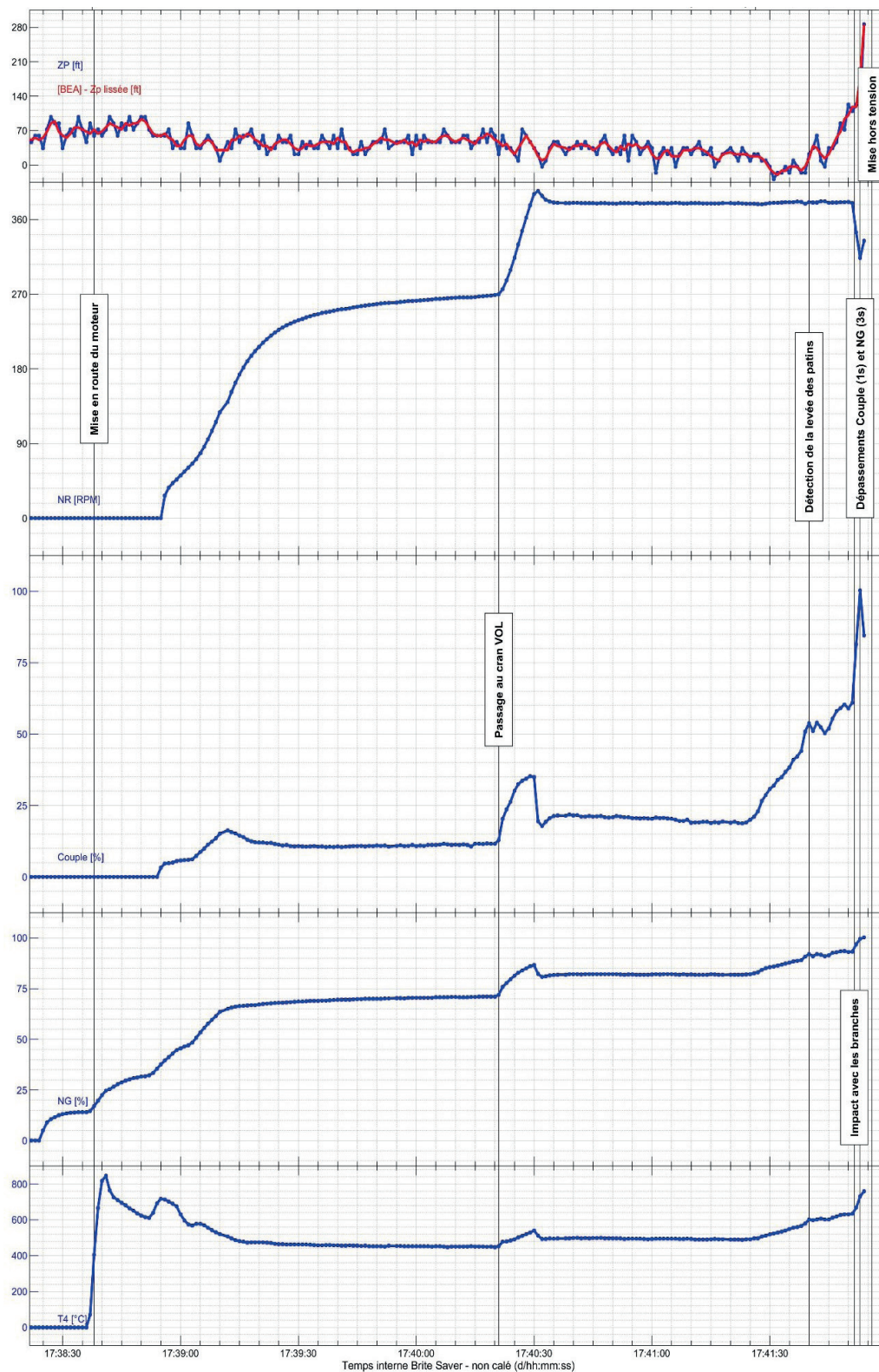
Examens réalisés sur la poutre de queue et les sièges avant

Annexe 3

Compte rendu d'examen ophtalmomologique (France)

Annexe 1

Données issues du Brite Saver – Vol de l'accident



Annexe 2

Examens réalisés sur la poutre de queue et les sièges avant

A2.1 Avant-propos

Les travaux pour expliquer la désolidarisation de la poutre de queue ont consisté dans un premier temps à déterminer le sur-couple engendré dans le rotor principal lors d'une collision avec un obstacle. Ce travail s'est appuyé sur des résultats expérimentaux puis sur un modèle dynamique du rotor du constructeur de l'hélicoptère.

Le sur-couple relevé au niveau du mat rotor a ensuite permis grâce à un modèle dynamique de déterminer les efforts et les moments qui en découlent au niveau de la liaison entre la cellule et la poutre de queue. Ces efforts et moments ainsi calculés ont alors été comparés à ceux admissibles par cette liaison.

En outre ces travaux ont permis de préciser les séquences de rupture des sièges et des blessures mortelles des occupants.

A2.2 DÉSOLIDARISATION DE LA POUTRE DE QUEUE

Le rotor anticouple (RAC) permet de contrôler l'hélicoptère sur son axe de lacet. La force aérodynamique résultante du RAC s'exerce dans un plan horizontal à l'opposé du couple de réaction du rotor principal.

Le RAC est positionné à l'extrémité de la poutre de queue elle-même fixée à la cellule en arrière de la cabine.

Le schéma ci-dessous illustre la zone de désolidarisation observée de la poutre de queue de la cellule de l'aéronef.

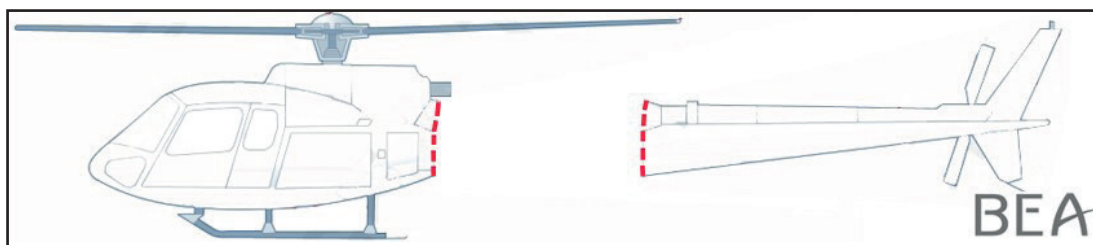


Figure 21 : Schéma jonction cellule / poutre de queue

Campagne d'essais

Airbus Helicopters a mené des essais antérieurs à l'accident sur le rotor principal de l'hélicoptère SA 341 Gazelle afin d'étudier son comportement et les conséquences engendrées en cas de contact avec des obstacles, tels que des branches d'arbre. Les pales de cet hélicoptère sont similaires à celles de l'hélicoptère accidenté, en termes de matériaux et de dimensions.

Cette étude avait consisté à introduire des branches dans le rotor tournant de l'hélicoptère (fixé au sol) à une position proche du saumon des pales, la vitesse de rotation du rotor étant constante. Les commandes de pas cyclique et collectif étaient fixées au neutre. Les branches étaient orientées perpendiculairement au disque du rotor principal.

Il s'agissait de branches de mûrier, dans un état sec puis dans un état « vert ». Elles avaient un diamètre variant de 20 à 200 mm.

Le mat rotor de l'hélicoptère utilisé pour ces essais disposait d'équipements permettant de mesurer le couple engendré dans l'axe du rotor principal en fonction du temps.

Avant l'introduction de la branche d'arbre dans le rotor principal, au régime de rotation établi, le couple mesuré est le couple dit « *nominal* » pour le rotor considéré. Ce couple est quasi-statique.

Lorsque la branche est introduite dans le rotor principal, une pulsation dynamique est engendrée. Le couple mesuré durant cette pulsation sera désigné « *sur-couple* ».

Durant les essais réalisés, aucun sur-couple n'a été mesuré pour un diamètre de branche inférieur à 70 mm, que le bois soit sec ou vert.

Les essais ont également montré que, dans la même configuration, le sur-couple engendré lorsque le bois est vert était supérieur à celui engendré lorsque le bois est sec.

Pour chaque « *qualité* » de bois, sec ou vert, les essais ont permis l'acquisition de données permettant de connaître l'amplitude maximale du sur-couple en fonction du diamètre de la branche introduite.

Le graphique ci-dessous présente les résultats obtenus. Sur ce graphique, pour chaque qualité de bois, sec ou vert, ces points sont situés sur une courbe, représentée par une loi mathématique.

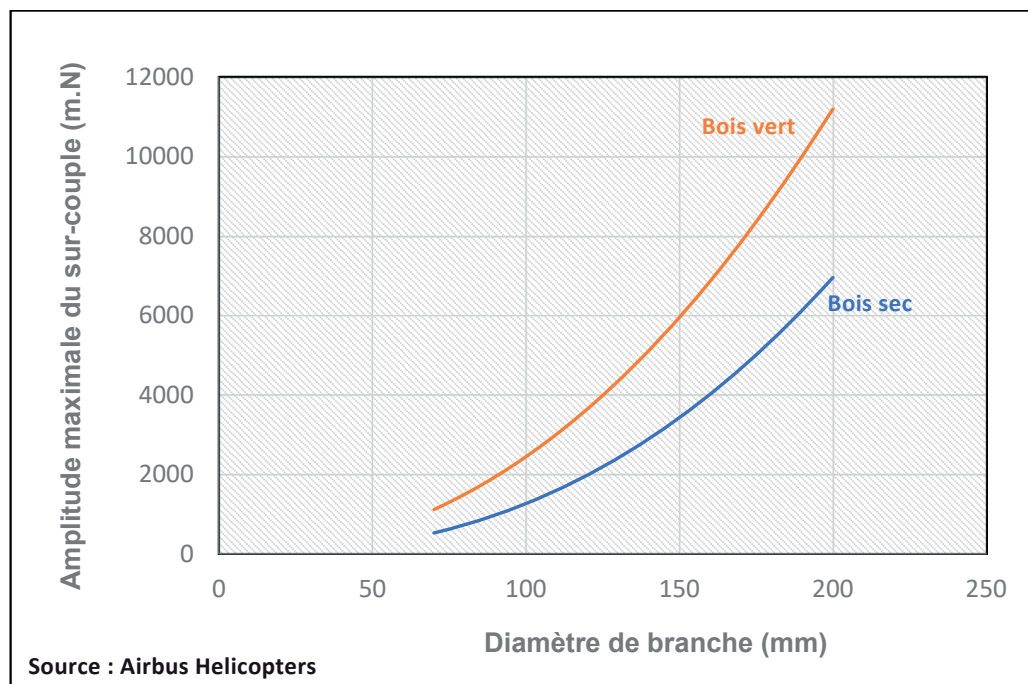


Figure 22 : Représentation du sur-couple en fonction du diamètre de branche introduite dans le rotor principal

Modèle dynamique du rotor pour noter les efforts de coupe d'un obstacle (branche)

Les travaux menés après l'accident de l'hélicoptère F-GIBM ont d'abord consisté à créer un modèle dynamique du rotor principal de l'hélicoptère utilisé durant les essais décrits précédemment. Ce modèle est représentatif du rotor principal de l'hélicoptère en masse, raideur et amortissement.

L'objectif de ce modèle est de calculer le sur-couple sur le mat du rotor principal à partir de la modélisation d'un effort impulsionnel sur une pale.

Cet effort impulsionnel représente l'impact d'une branche avec une pale. Il est représenté sous la forme d'un signal sinusoïdal périodique, dont la période correspond au temps de coupe de la branche et dont l'amplitude décroît au cours du temps.

Ce modèle établit une loi linéaire entre l'effort impulsionnel et le diamètre de la branche introduite dans le rotor principal, telle qu'illustrée sur le graphique ci-dessous.

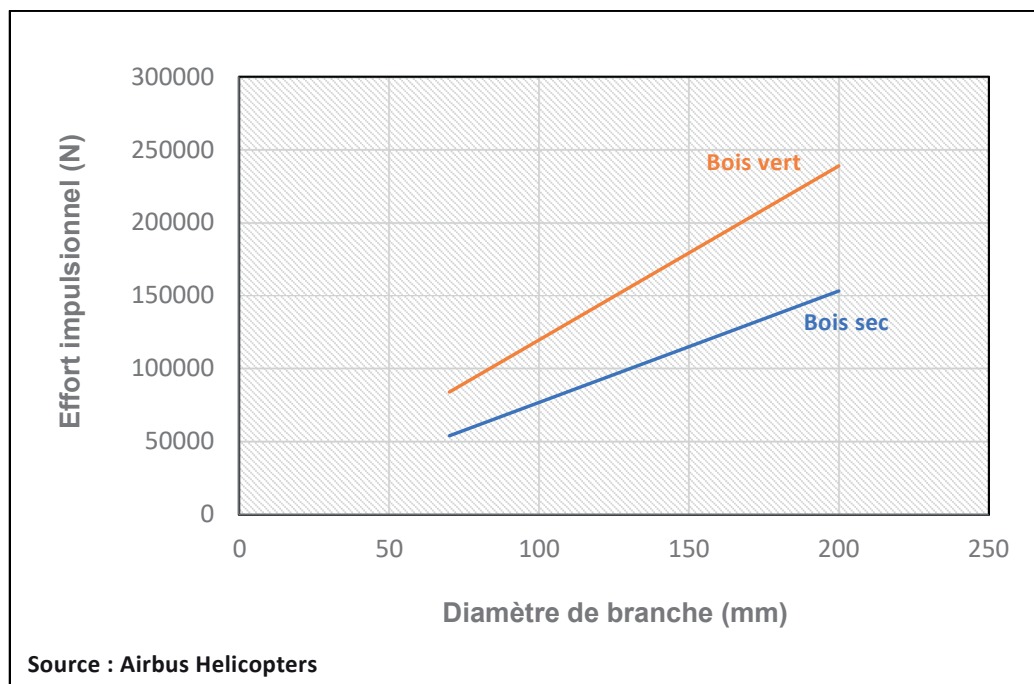


Figure 23 : Représentation de l'effort impulsionnel en fonction du diamètre de branche introduite dans le rotor principal

Détermination du sur-couple engendré sur le mat du rotor principal de l'hélicoptère F-GIBM lors de l'accident

Airbus Helicopters a adapté ce modèle dynamique à l'hélicoptère AS350 B, en prenant en compte ses caractéristiques.

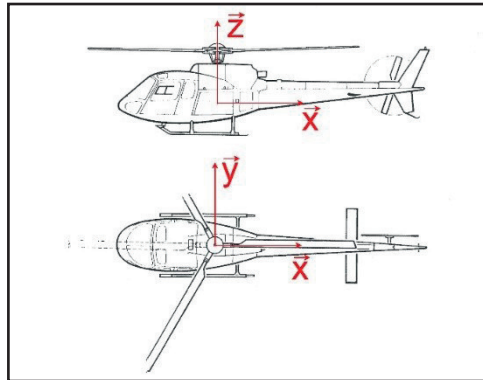


Figure 24 : Repère utilisé lors de l'étude

Comme indiqué précédemment, ce modèle a été créé à partir d'essais réalisés avec des branches de mûrier. Les propriétés physiques et mécaniques théoriques du frêne (arbre heurté par le F-GIBM) sont proches de celles du mûrier.

Les premières hypothèses retenues pour le calcul du sur-couple sur le rotor principal de l'hélicoptère accidenté sont celles listées ci-dessous.

■ Hypothèse 1 : Impacts avec les pales

La répartition du nombre d'impacts entre les branches et les pales est la suivante :

- Pale rouge : 7 impacts
- Pale jaune : 1 impact
- Pale bleue : 0 impact.

■ Hypothèse 2 : Répartition des impacts

Sur l'arbre, les branches rompues couvrent un secteur spatial estimé à environ 140°.

En considérant le nombre d'impacts (hypothèse 1), ces derniers seront arbitrairement répartis sur le secteur de 140°, soit un impact tous les 20° de rotation du rotor (0°, 20°, 40°, 60°, 80°, 100°, 120°, 140°).

Pour chaque impact, un effort impulsionnel est considéré, soit une onde sinusoïdale par impact. La fréquence de passage des pales du rotor principal, de 19,3 Hz (rotor équipé de trois pales animé d'une vitesse de rotation de 385 tr/min), est bien supérieure à la fréquence du signal dynamique de réponse du sur-couple (2.5 Hz environ). De ce fait, les efforts impulsionnels successifs se cumulent.

■ Hypothèse 3 : Diamètre de branche

À chaque interaction le diamètre de branche considéré est de 14 cm.

En considérant ces hypothèses et le modèle adapté au rotor principal de l'hélicoptère AS350 B, le couple dans l'axe rotor, soit $\overrightarrow{M_z}$, a une amplitude maximale de 92 000 m.N.

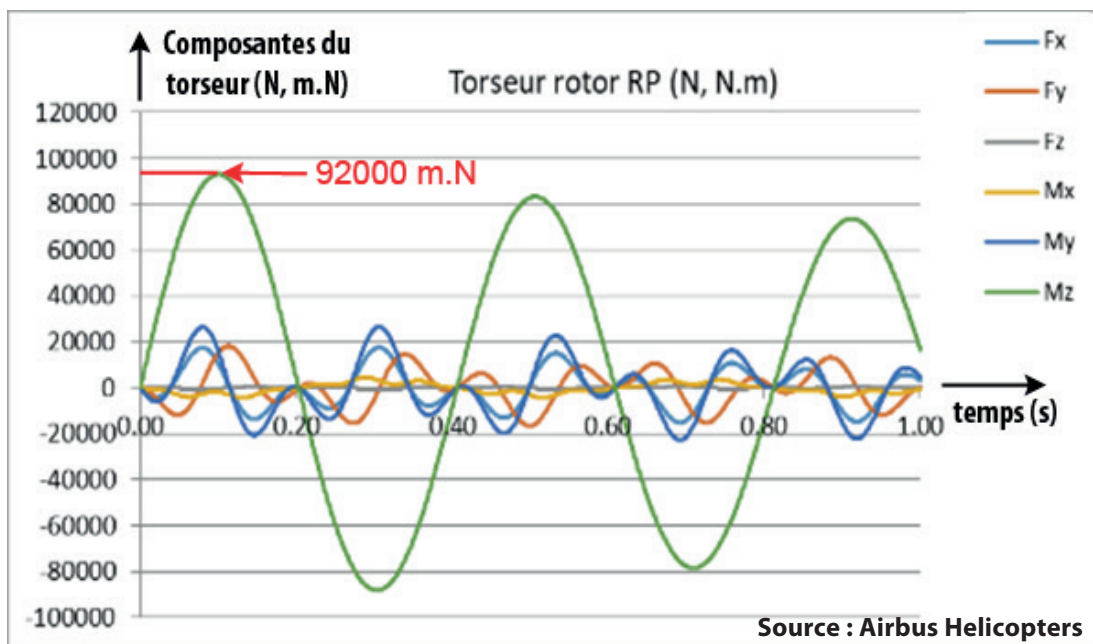


Figure 25 : Représentation des efforts et des moments dans la tête rotor

Analyse de la rupture de la poutre de queue

La liaison entre la cellule et la poutre de queue est réalisée suivant la géométrie ci-dessous :

- ❑ Au droit de la partie arrière de la structure arrière, la cellule présente un cadre, associé à une cornière sur 360° et orientée vers l'arrière.
- ❑ La poutre de queue présente également un cadre à proximité immédiate de cette zone de liaison. Le revêtement de la poutre de queue vient en position sur la surface externe de la cornière côté cellule. La jonction est ensuite assurée par 99 rivets.

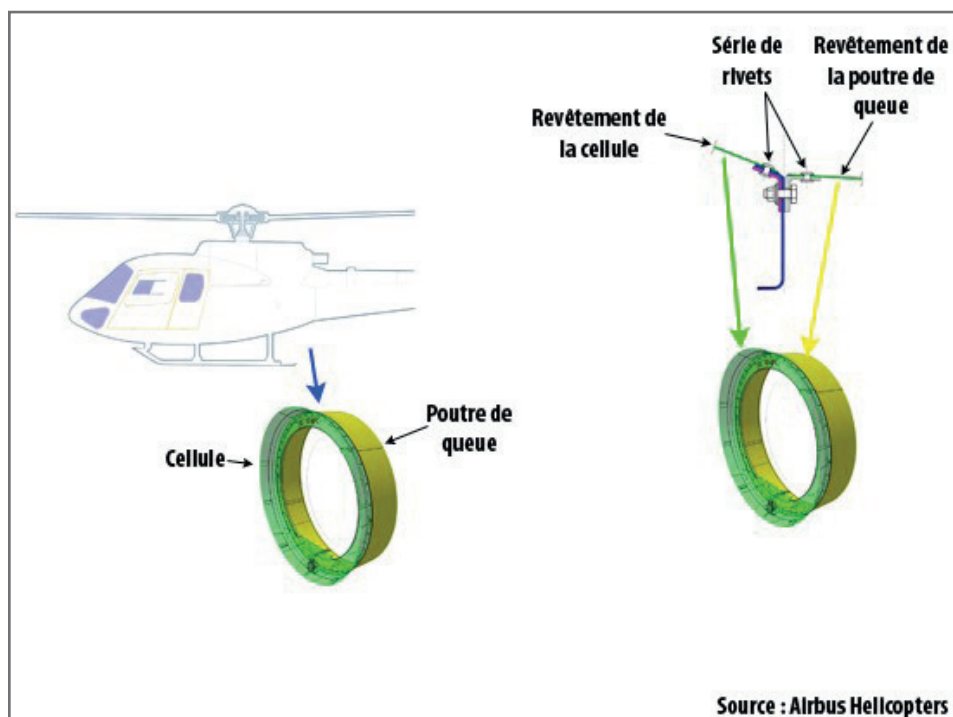


Figure 26 : Schéma de liaison entre la cellule et la poutre de queue

Le graphique ci-dessous présente le domaine de résistance en cisaillement du rivet le plus sollicité assurant la liaison mécanique entre la cellule et la poutre de queue. Sur cette figure, le domaine est représenté en termes de moments engendrés (selon les axes \vec{y} et \vec{z}) au droit de cette liaison.

La rupture du rivet le plus sollicité entraîne une surcharge des rivets voisins qui vont rompre à leur tour jusqu'à ce que la section restante de revêtement de poutre de queue devienne trop faible et se plie.

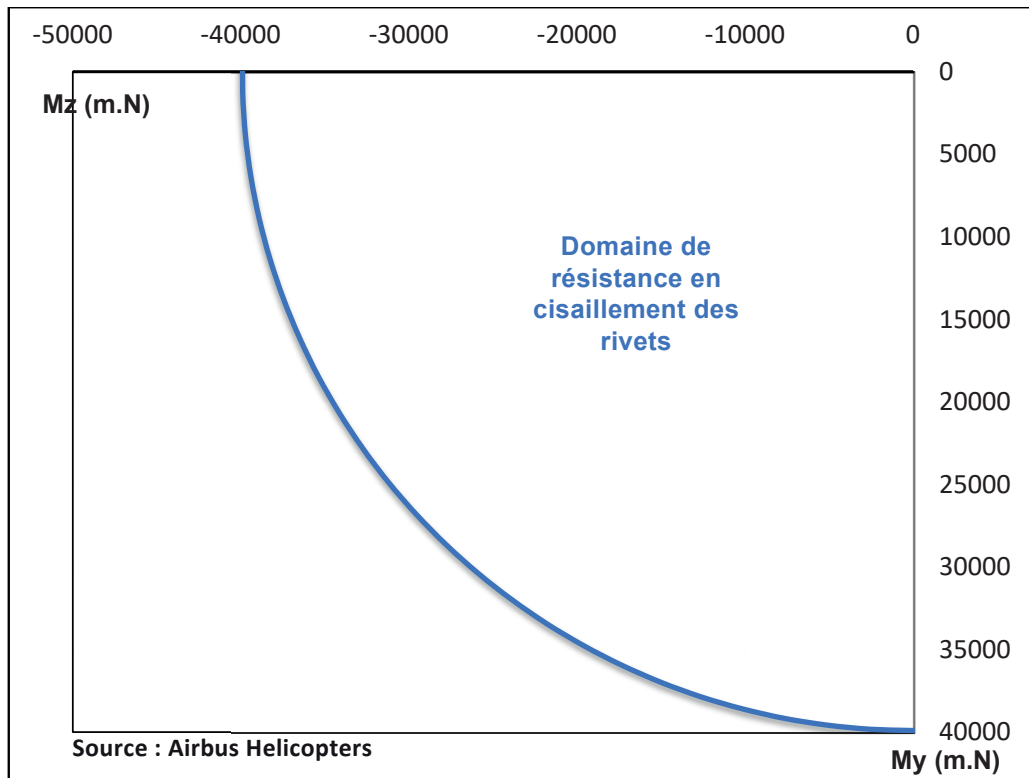


Figure 27 : Domaine de résistance en cisaillement des 99 rivets

Le modèle dynamique de l'hélicoptère AS350 B permet de calculer le torseur associé au droit de cette liaison. Les composantes de ce torseur sont représentées dans le diagramme ci-dessous.

Du fait que les efforts et les moments engendrés sur le rotor principal sont des signaux sinusoïdaux périodiques, dont l'amplitude diminue avec le temps, les composantes du torseur, au droit de la liaison de la poutre de queue, sont représentées par des courbes. En considérant l'hélicoptère AS350 B, en vol stationnaire, aux conditions atmosphériques standards (ISA), proche du sol, les moments attendus au droit de la liaison entre la cellule et la poutre de queue sont indiqués par la puce de couleur rouge sur le diagramme ci-dessous.

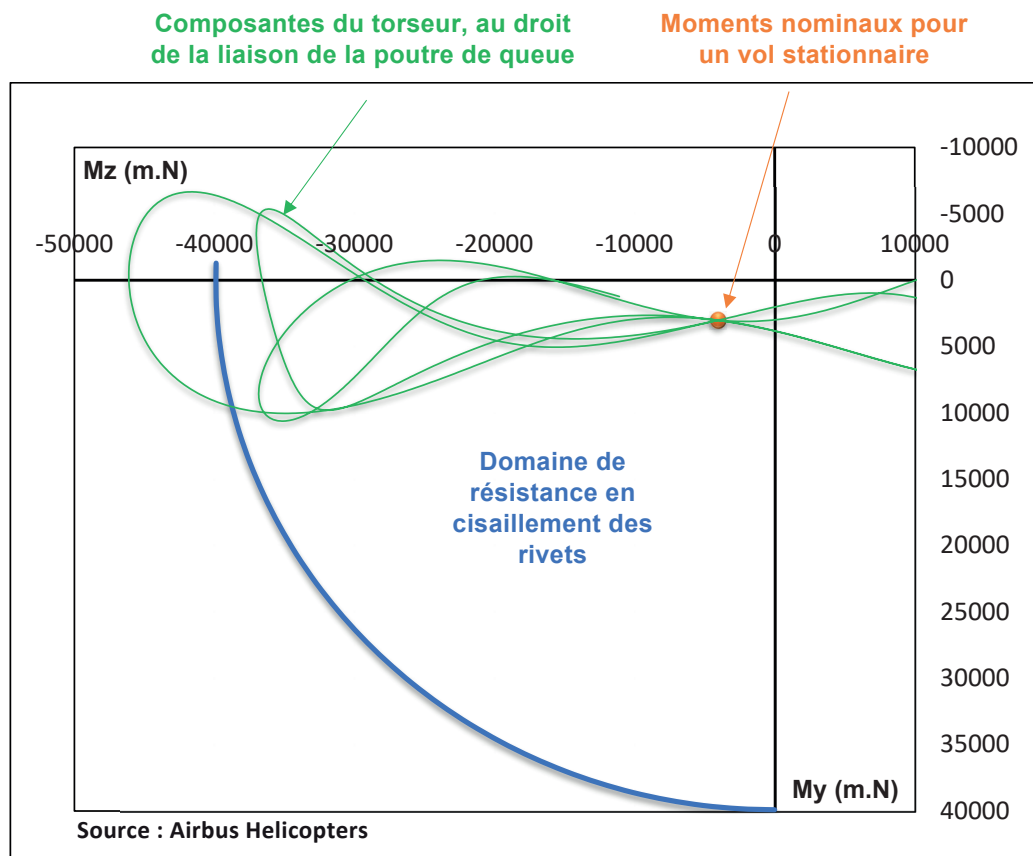


Figure 28 : Point de rupture des rivets

L'amplitude des premiers moments engendrés à la liaison entre la cellule et la poutre de queue par le sur-couple sur le rotor principal se situe au-delà du domaine de résistance en cisaillement du rivet le plus sollicité. Dans ces conditions, les ruptures, conduisant à la désolidarisation de la poutre de queue, interviennent 0,072 s après l'interaction des pales du rotor principal avec les branches, suivant les hypothèses retenues.

Des travaux complémentaires ont été réalisés et ont permis de déterminer que pour dépasser le domaine de résistance en cisaillement du rivet le plus sollicité, le diamètre des branches doit être supérieur ou égal à 11 cm.

De même ces travaux permettent de déterminer que sur la pale rouge, pour dépasser le domaine de résistance en cisaillement du rivet le plus sollicité, le nombre d'impact doit être supérieur ou égal à 5.

Exploitation de la vidéo et des travaux liés à l'accident de l'AS350 immatriculé ZK-HIG survenu le 23 novembre 2011

Au cours de cet accident, à l'issue d'une dépose d'un pylône, l'hélicoptère est descendu à la verticale, le câble étant toujours relié au pylône et au crochet de l'hélicoptère.

Une pale du rotor a heurté le câble et sous le choc, la queue s'est désolidarisée de la cabine puis de l'hélicoptère qui a tourné alors autour de son axe de lacet avant de chuter et toucher le sol.

Une vidéo⁽¹³⁾ montre la séquence de rupture ainsi que les effets de la force centrifuge sur le pilote.

⁽¹³⁾ <https://www.youtube.com/watch?v=v5aMT9MBfZI>

Bien que les hypothèses retenues pour élaborer une modélisation des moments engendrés au droit de la poutre de queue aient été différentes de celles du F-GIBM, l'enquête de sécurité a démontré que les moments calculés étaient au-delà du domaine de résistance en cisaillement des rivets de fixation.

https://www.aviation.govt.nz/assets/publications/fatal-accident-reports/zk-hig_final_rep.pdf

A2.2 DÉSOLIDARISATION DES SIÈGES

Le graphique ci-dessous présente l'enveloppe dans laquelle les accélérations verticales (selon l'axe nommé Z orienté vers le haut) et latérales (selon l'axe nommé Y) sont admissibles pour le type de siège considéré qui équipait l'hélicoptère F-GIBM, conformément au dossier de certification de l'aéronef équipé de ce type d'assise.

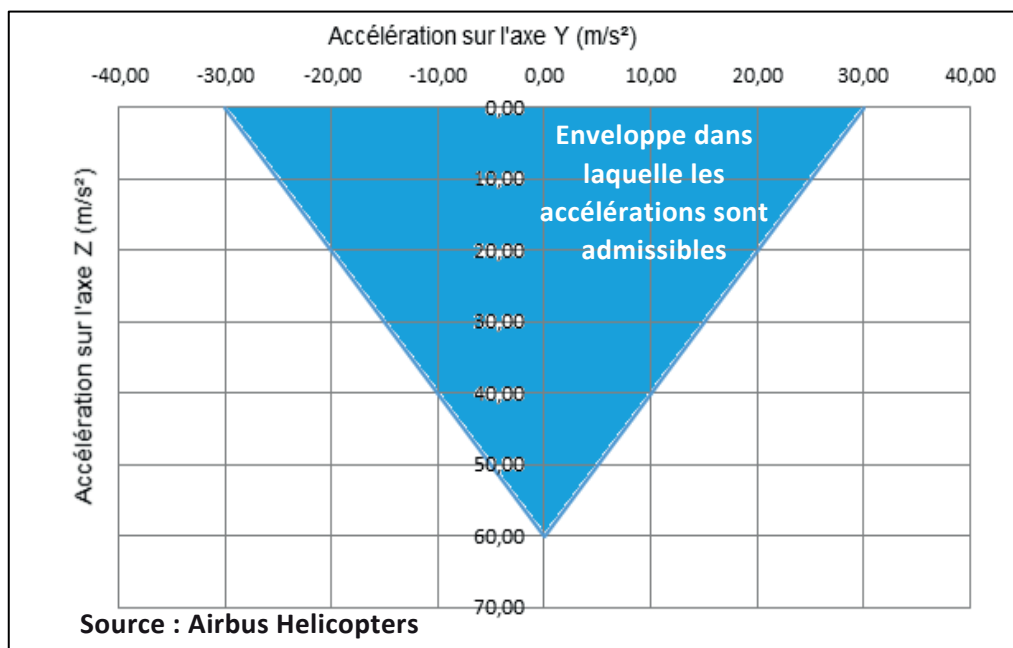
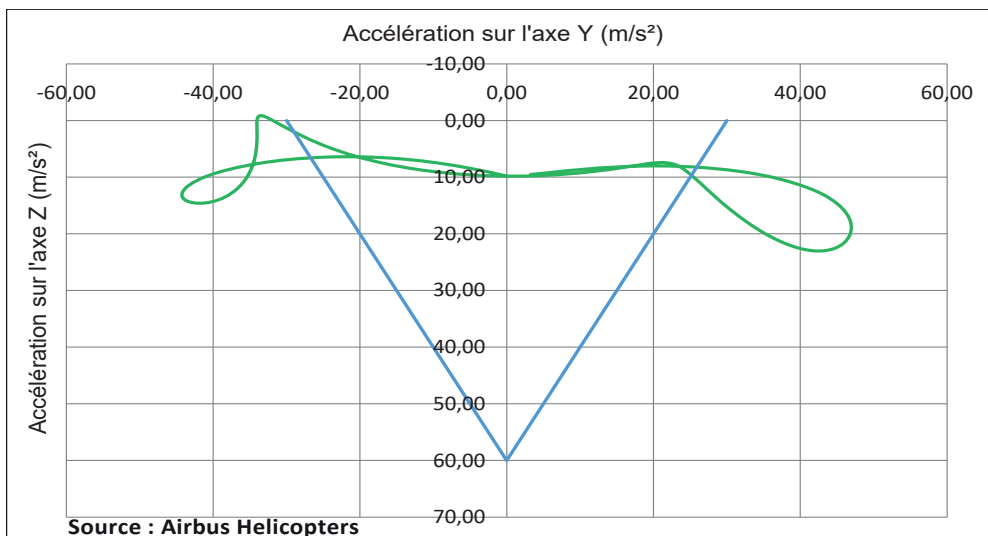


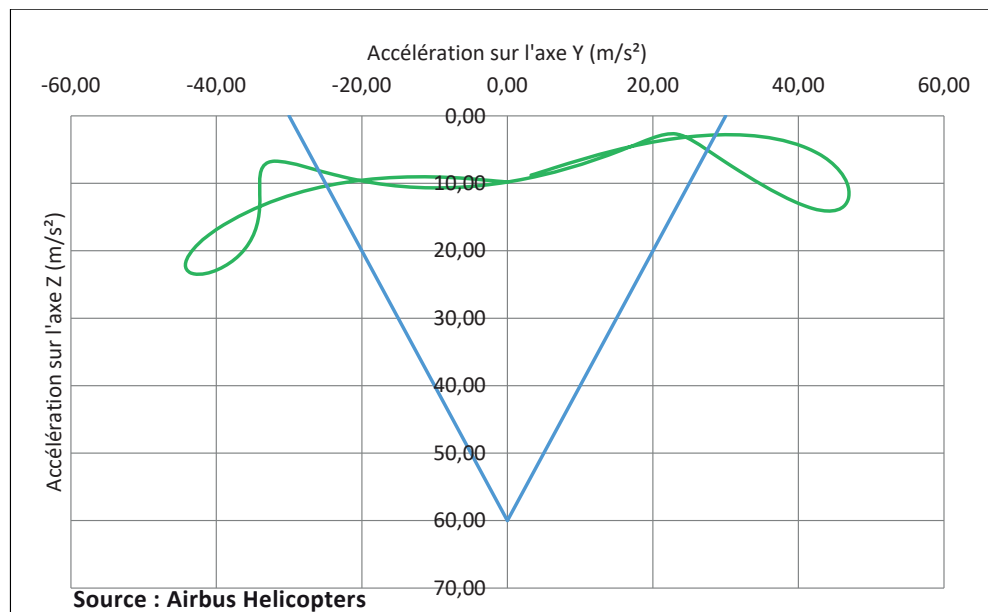
Figure 29 : Représentation de l'enveloppe dans laquelle les accélérations sont admissibles pour les sièges qui équipaient l'hélicoptère F-GIBM

Au moyen du modèle dynamique de l'hélicoptère AS350 B, le torseur au droit de chaque siège avant, engendré par le sur-couple sur le rotor principal, a été calculé. Les accélérations associées sont représentées dans les diagrammes ci-dessous, indiquées en vert.

■ **Siège avant droit :**



■ **Siège avant gauche :**



En considérant les hypothèses présentées au § A2.1, les accélérations latérales, engendrées lors de l'interaction des pales du rotor principal avec les branches, ont dépassé l'enveloppe admissible des sièges. L'arrachement des sièges du plancher cabine serait intervenu environ 0,03 s après le contact des pales du rotor principal avec les branches de l'arbre.

Note :

Airbus Helicopters a introduit une nouvelle génération de siège en 1999, désigné « sièges à haute absorption d'énergie ». L'installation de ce type de siège était possible dans l'hélicoptère F-GIBM. Toutefois, au vu des circonstances de l'accident, une telle installation n'aurait très probablement pas amélioré les possibilités de survie des occupants de l'appareil.

Annexe 3
Compte rendu d'examen ophtalmologique (France)

COMPTE-RENDU D'EXAMEN OPHTALMOLOGIQUE

Nom usuel	Date de naissance
Prénom	Sexe <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F

ANTÉCÉDENT D'INTERVENTION OPHTALMOLOGIQUE :		
Date :	Type :	Réfraction antérieure :

<p style="text-align: center;">ŒIL DROIT</p> <p>Acuité visuelle à 5 mètres sans correction : /10 avec correction : /10</p> <p>Acuité visuelle Parinaud 6 à 60 cm oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> → P =</p> <p>Acuité visuelle Parinaud 2 à 30 cm oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> → P =</p> <p>Correction actuelle (en dioptries) :</p> <p>Puissance réfractive sous cycloplégie :</p> <p>Port de lentilles : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Réfraction stable : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p>Tonus :</p> <p>Biomicroscopie :</p> <p>1) Segment intérieur :</p> <p>2) Fond d'œil (verre à trois miroirs) :</p> <p>-État de la papille :</p> <p>-État du pôle postérieur :</p> <p>- État de la périphérie rétinienne :</p>	<p style="text-align: center;">ŒIL GAUCHE</p> <p>Acuité visuelle à 5 mètres sans correction : /10 avec correction : /10</p> <p>Acuité visuelle Parinaud 6 à 60 cm oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> → P =</p> <p>Acuité visuelle Parinaud 2 à 30 cm oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> → P =</p> <p>Correction actuelle (en dioptries) :</p> <p>Puissance réfractive sous cycloplégie :</p> <p>Port de lentilles : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Réfraction stable : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p>Tonus :</p> <p>Biomicroscopie :</p> <p>1) Segment intérieur :</p> <p>2) Fond d'œil (verre à trois miroirs) :</p> <p>-État de la papille :</p> <p>-État du pôle postérieur :</p> <p>- État de la périphérie rétinienne :</p>
---	--

Équilibre oculomoteur : PPC : Phories : T.N.O. :
(si anormal, joindre un bilan orthoptique)

Champ visuel binoculaire normal : oui ☐ non ☐ (joindre alors les copies des schémas)

Sens chromatique (tables d'Ishihara) normal : oui ☐ non ☐

DATE DE L'EXAMEN OPHTALMOLOGIQUE :
NOM, TAMPON D'IDENTIFICATION ET SIGNATURE DU MÉDECIN OPHTALMOLOGUE QUI A PRATiqué L'EXAMEN :

NB : le verso est utilisable pour tout renseignement utile qui n'aurait pas trouvé sa place au recto



Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

10 rue de Paris
Zone Sud - Bâtiment 153
Aéroport du Bourget
93352 Le Bourget Cedex - France
T : +33 1 49 92 72 00 - F : +33 1 49 92 72 03
www.bea.aero