

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT

D'ENQUÊTE DE SÉCURITÉ



BEAD-air-G-2016-008-A

Date de l'évènement	20 mai 2016
Lieu	Massif du Vignemale (Hautes-Pyrénées)
Type d'appareil	EC145
Immatriculation	F-MJBB / n°9014
Organisme	Gendarmerie nationale
Unité	Détachement aérien de la gendarmerie de Tarbes

AVERTISSEMENT

COMPOSITION DU RAPPORT

Les faits, utiles à la compréhension de l'évènement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'analyse des causes possibles de l'évènement fait l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes retenues. Enfin, des recommandations de sécurité sont proposées dans le dernier chapitre. Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure légale française.

UTILISATION DU RAPPORT

L'unique objectif de l'enquête de sécurité est la prévention des accidents et incidents sans détermination des fautes ou des responsabilités. L'établissement des causes n'implique pas la détermination d'une responsabilité administrative civile ou pénale. Dès lors toute utilisation totale ou partielle du présent rapport à d'autres fins que son but de sécurité est contraire à l'esprit des règlements et relève de la responsabilité de son utilisateur.

CREDITS PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page de garde : SIRPA gendarmerie

Photos :

- Pages 15, 16 haut, 18, 19, 22 haut et 23 : BEAD-air
- Pages 16 bas, 17, 20, 21, 22 bas, 48 bas, 57 et 58 : gendarmerie nationale
- Pages 29, 30 et 31 : DGA TA

Illustrations :

- Pages 7, 8, 9, 10, 27, 28, 32, 36, 46 et 48 : BEAD-air
- Pages 20 et 47 : Airbus Helicopters
- Pages 33, 34, 35, et 62 : RESEDA
- Page 39 : IRCGN
- Page 60 : DGA TA

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	2
CREDITS PHOTOS ET ILLUSTRATIONS	2
TABLE DES MATIERES	3
GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS	5
1. Renseignements de base	7
1.1. Déroulement du vol	7
1.2. Dommages corporels	11
1.3. Dommages à l'aéronef	11
1.4. Autres dommages	11
1.5. Renseignements sur l'équipage	11
1.6. Renseignements sur l'aéronef	12
1.7. Conditions météorologiques	13
1.8. Aides à la navigation	14
1.9. Télécommunications	14
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	14
1.11. Enregistreurs de bord	15
1.12. Renseignements sur l'impact et sur l'épave	15
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	24
1.14. Incendie	24
1.15. Organisation des secours	24
1.16. Essais et recherches	25
1.17. Renseignements sur les organismes	25
2. Analyse	27
2.1. Résultats des expertises	27
2.2. Scénario de l'évènement	33
2.3. Recherche des causes relevant des facteurs organisationnels et humains	36
3. Conclusion	51
3.1. Eléments établis utiles à la compréhension de l'évènement	51
3.2. Causes de l'évènement	51
4. Recommandations de sécurité	53
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement	53
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'évènement	54
ANNEXES	56
ANNEXE 1 FICHE MODIFICATION DU « BAC ALUMINIUM »	57
ANNEXE 2 LISTE DES PARAMETRES ENREGISTRES PAR L'UMS SSQAR	59
ANNEXE 3 ESSUIE-GLACE – POSITIONNEMENT AU MOMENT DE L'ACCIDENT	60
ANNEXE 4 RECAPITULATIF DES DOMMAGES VISUALISES SUR LES PALES	61
ANNEXE 5 COMPARAISON ANALYSE SPECTRALE AVEC LE PARAMETRE N1	62

GLOSSAIRE

BTP	boîte de transmission principale
CEMPN	centre d'expertise médicale du personnel navigant
CFAGN	commandement des forces aériennes de la gendarmerie nationale
DES	dans l'effet de sol
DAG	détachement aérien de la gendarmerie nationale
DGA EP	direction générale de l'armement essais propulseurs
DGA TA	direction générale de l'armement techniques aéronautiques
DGSCGC	direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises
HES	hors effet de sol
IRCGN	institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale
MBO	mécanicien de bord treuilliste
MRP	mât rotor principal
N1	vitesse des générateurs de gaz
PGHM	peloton de gendarmerie de haute montagne
RAC	rotor anti-couple
RESEDA	restitution des enregistreurs de données d'accidents
UMS	<i>usage and monitoring system</i>

SYNOPSIS

Date de l'évènement : 20 mai 2016

Lieu de l'évènement : massif du Vignemale, communes de Cauterets et de Gavarnie (Hautes-Pyrénées)

Organisme : gendarmerie nationale

Commandement organique : commandement des forces aériennes de la gendarmerie nationale (CFAGN)

Unité : détachement aérien de la gendarmerie nationale (DAG) de Tarbes

Aéronef : EC145

Nature du vol : préparation opérationnelle

Nombre de personnes à bord : 4

Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

Le vendredi 20 mai 2016, une mission est réalisée dans le massif du Vignemale au profit du peloton de gendarmerie de haute montagne (PGHM) de Pierrefitte-Nestalas.

L'équipage décolle à 11h40 de Tarbes pour récupérer des militaires qu'il a déposés le matin même. Il se pose au niveau de la Brèche de Gaube et embarque deux militaires du PGHM ainsi que du matériel.

Il redécolle et s'engage dans le couloir de Gaube. Les pales du rotor principal heurtent le relief. L'appareil s'écrase et s'immobilise 600 m plus bas. Les quatre personnes à bord décèdent. L'aéronef est détruit.

Composition du groupe d'enquête de sécurité

- Un directeur d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air).
- Un enquêteur adjoint du BEAD-air.
- Un expert technique du BEAD-air.
- Un officier pilote ayant une expertise sur EC145.
- Un officier mécanicien de bord treuilliste (MBO) ayant une expertise sur EC145.
- Un médecin breveté supérieur de médecine aéronautique.

Autres experts consultés

- Direction générale de l'armement essais propulseurs (DGA EP).
- Direction générale de l'armement techniques aéronautiques (DGA TA).
- Institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale (IRCGN).
- Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA).
- Météo-France / Direction interrégionale sud-ouest / Cellule enquêtes aéronautiques.
- Airbus Helicopters.
- Safran Helicopter Engines.

Déclenchement de l'enquête de sécurité

Le BEAD-air est informé téléphoniquement le 20 mai 2016 à 12h50 par le centre de renseignement opérationnel de la gendarmerie de l'air. Le groupe d'enquête se rend sur les lieux dans la journée. L'expert médecin et l'expert mécanicien rejoignent le groupe d'enquête le lendemain.

PAS DE TEXTE

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Indicatif : Choucas 65

Type de vol : CAG VFR¹

Type de mission : préparation opérationnelle

Dernier point de départ : aérodrome Tarbes Laloubère

Heure de départ : 11h40

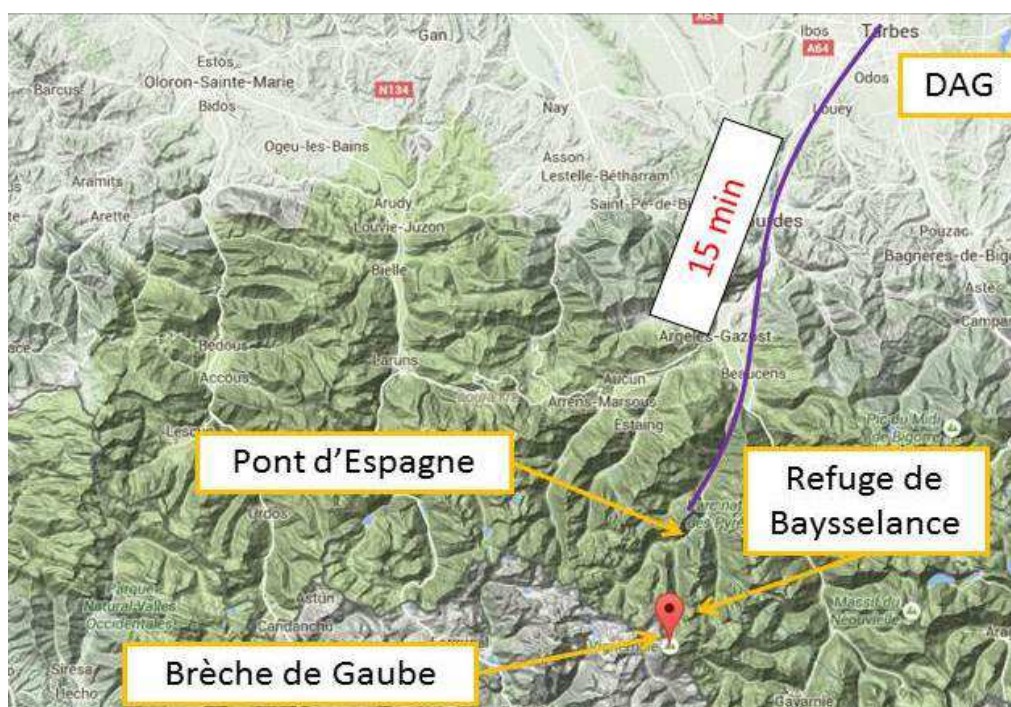
Point d'atterrissage prévu : aérodrome Tarbes Laloubère

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

La mission est réalisée au profit du PGHM de Pierrefitte-Nestalas dans le cadre du plan d'emploi mensuel² du DAG de Tarbes. L'équipage de l'hélicoptère est constitué d'un pilote et d'un MBO. L'équipage est en même temps de permanence pour les missions de secours.

La mission consiste à mettre en place cinq militaires du PGHM au niveau de la Brèche de Gaube et à les récupérer à l'issue de leur entraînement. L'équipage analyse la météo du jour, compatible avec la mission.

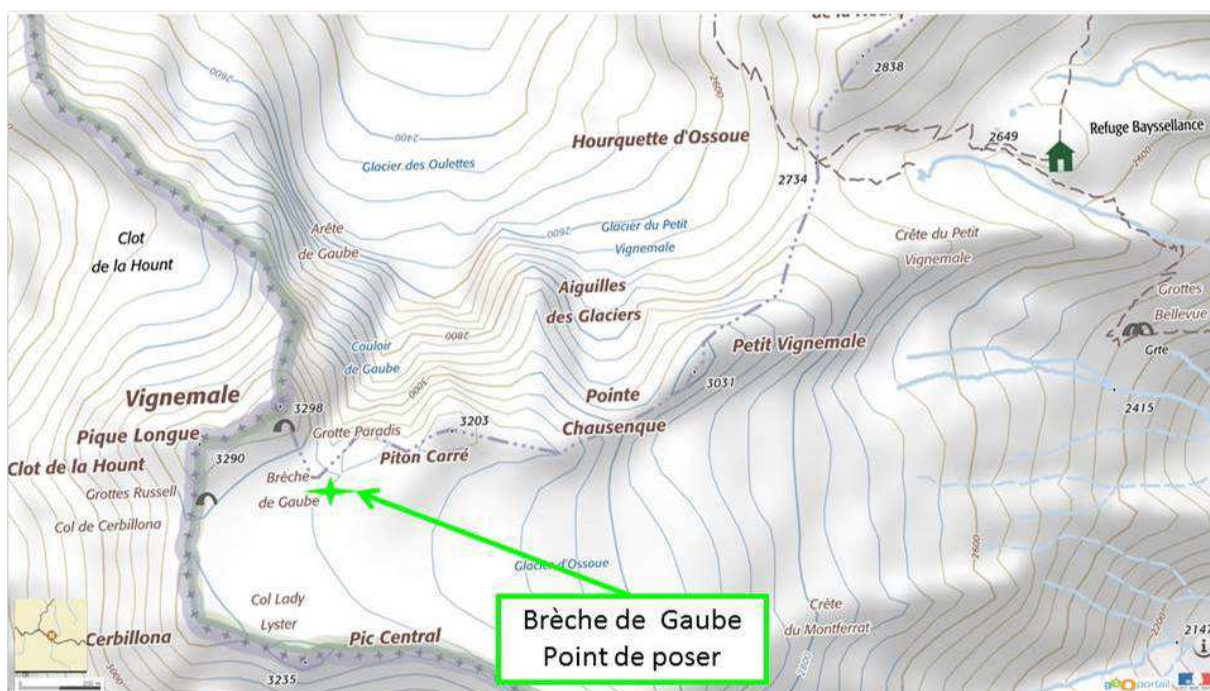


Localisation des points de poser

Il est prévu par ailleurs de prépositionner au Pont d'Espagne l'équipe médicale d'alerte, composée d'un médecin et de deux secouristes supplémentaires du PGHM.

¹ Circulation aérienne générale ; VFR : *visual flight rules* – règles de vol à vue.

² Liste mensuelle des missions planifiées / programmées.



Localisation de la zone de poser

1.1.2.2. Vol de mise en place

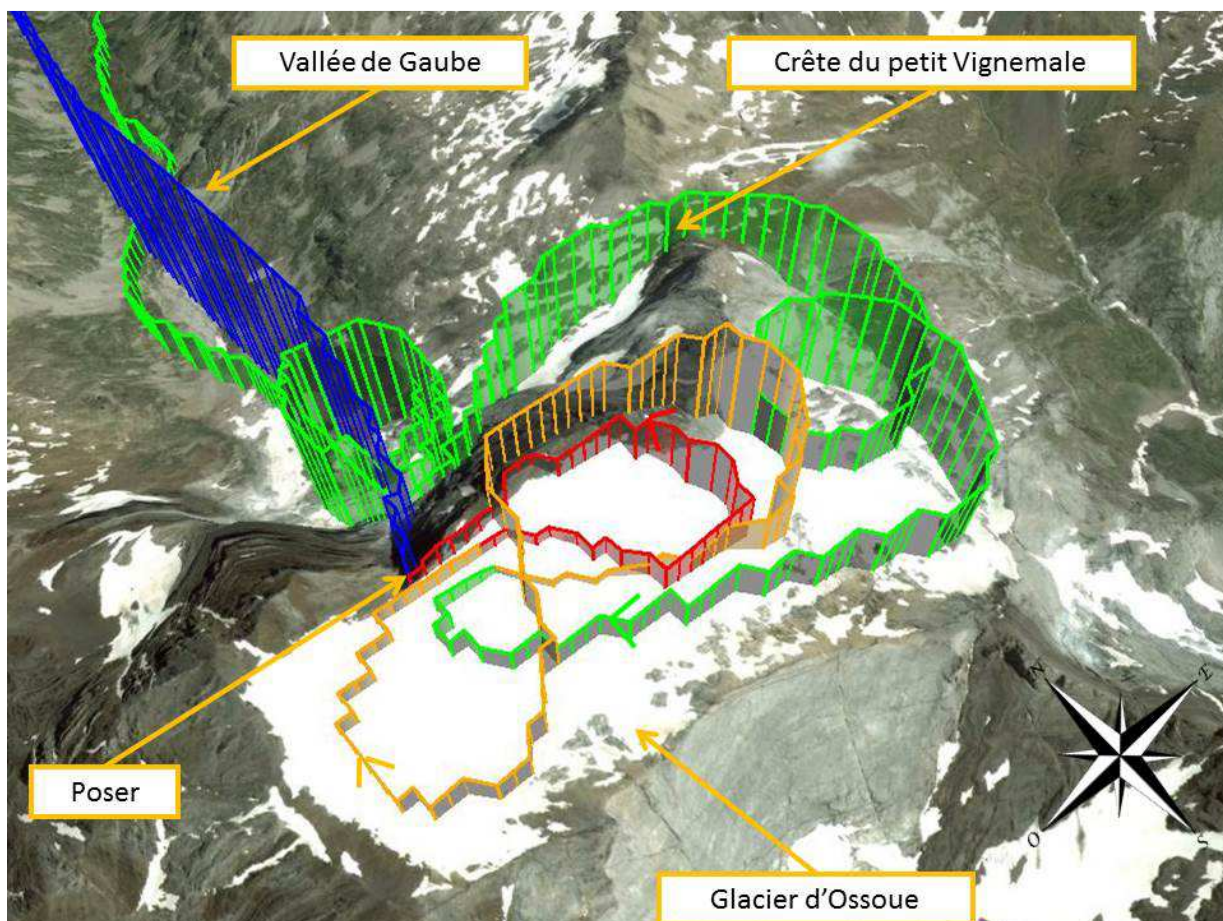
L'équipage décolle de Tarbes à 9h05 avec à son bord l'équipe médicale d'alerte.

Après l'atterrissage au Pont d'Espagne, un briefing est réalisé vers 9h20 avec les cinq militaires du PGHM déjà présents sur les lieux (ils ont rejoint le site en voiture).

Deux militaires du PGHM destinés à la mission d'entraînement sont embarqués pour une première rotation.

L'équipage remonte la vallée de Gaube, franchit la crête du petit Vignemale et survole le glacier d'Ossoue pour arriver au niveau de la Brèche (trace verte sur la figure page 9). Après une reconnaissance aérologique (fin de la trace verte) puis une reconnaissance d'aire de poser (trace orange), il effectue son approche (trace rouge) puis dépose les deux militaires du PGHM avec du matériel.

Il décolle, monte à environ 25 m, pivote d'environ 90° sur sa droite, s'engage dans le couloir de Gaube (altitude de 3 152 m) et retourne au Pont d'Espagne pour récupérer les trois autres militaires du PGHM destinés à la mission d'entraînement (trace bleue).



Trajectoire de la première rotation

L'équipage effectue une deuxième rotation suivant un itinéraire similaire et se pose après avoir réalisé deux passages de reconnaissance. Les trois militaires débarquent. L'hélicoptère décolle, monte à une hauteur d'environ 30 m, puis s'engage dans le couloir en direction de la zone de poser de Pont d'Espagne.

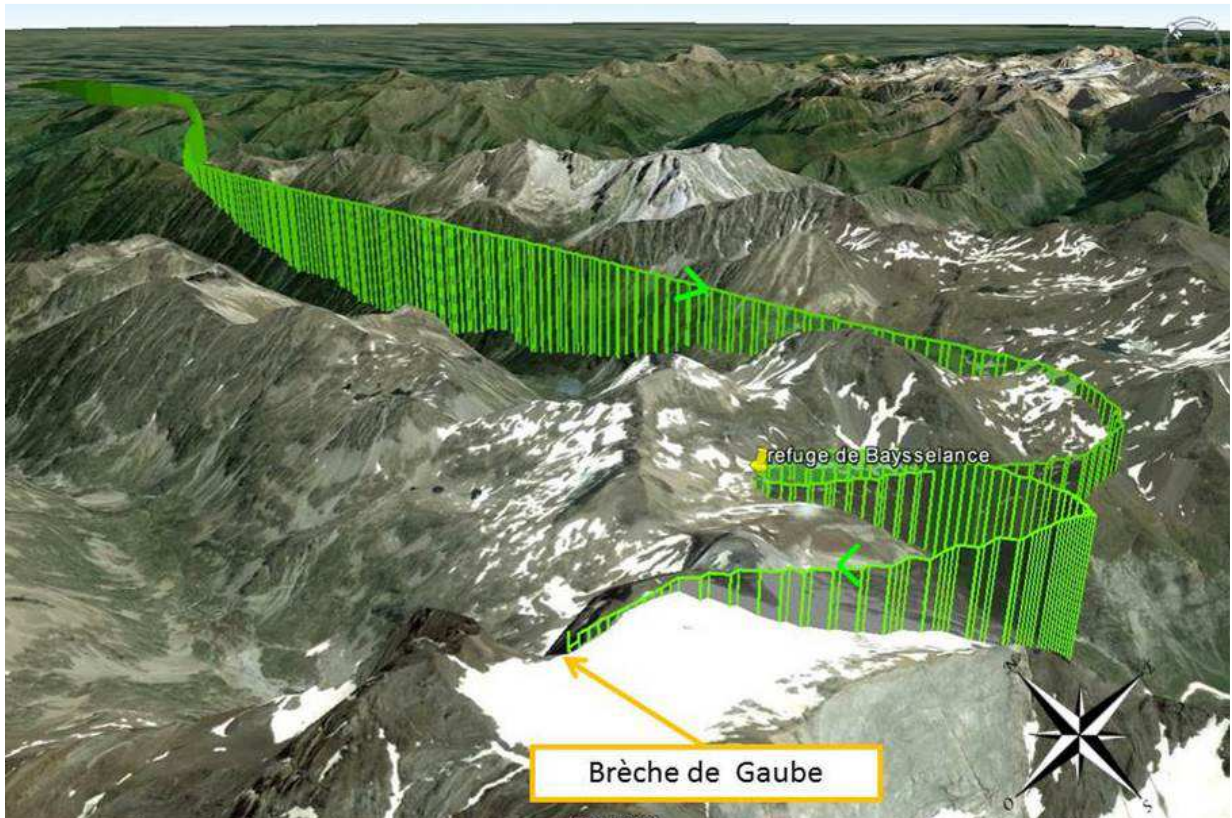
Après récupération de l'équipe médicale d'alerte vers 9h50, l'aéronef effectue une nouvelle reconnaissance du massif de Vignemale, puis se pose au refuge de Baysse et redécolle en direction de Tarbes.

A 10h20, l'hélicoptère atterrit à Tarbes avec l'équipe médicale d'alerte. Il complète son carburant afin d'être prêt à redécoller pour rechercher l'équipe du PGHM en fin de matinée.

1.1.2.3. Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'évènement

A la fin de leur entraînement, les militaires du PGHM contactent le DAG. A 11h40, l'équipage décolle à nouveau avec l'équipe médicale d'alerte, la dépose au refuge de Baysse et redécolle pour le glacier d'Ossoue afin de récupérer les cinq militaires du PGHM. Lors du trajet, l'équipage organise les rotations et annonce à la radio qu'il récupèrera d'abord deux personnes.

Les militaires du PGHM en attente au sommet du couloir annoncent qu'il n'y a presque plus de vent. Le pilote constate lors de son approche qu'il y a même une légère inversion du vent. Il se pose et embarque deux personnes ainsi que du matériel comme prévu.



Trajectoire jusqu'au poser

1.1.2.4. Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol

L'appareil décolle d'environ 7 m tout en pivotant de 90° sur sa droite et s'engage dans le couloir de Gaube en initiant un léger virage à droite. Les pales du rotor principal heurtent le relief à droite et se rompent. L'hélicoptère effectue une rotation par la droite et percute la paroi nord du Piton Carré. L'appareil s'immobilise en bas du couloir à une altitude d'environ 2 550 m.

1.1.3. Localisation

- Lieu :
 - pays : France
 - département : Hautes-Pyrénées
 - communes : Cauterets - Gavarnie (ligne de crête séparant les deux communes)
 - coordonnées géographiques :
 - N 42°46'22.20 / E 0°08'45.48
 - altitude du lieu de l'évènement : 3 155 m
- Moment : jour
- Aérodrome le plus proche au moment de l'évènement : aéroport Tarbes Lourdes Pyrénées

1.2. Dommages corporels

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles	2	2	
Graves			
Légères			
Aucune			

1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
EC145 F-MJBB		X		

1.4. Autres dommages

Sans objet.

1.5. Renseignements sur l'équipage

1.5.1. Commandant de bord

- Age : 49 ans
- Unité d'affectation : DAG de Tarbes
 - fonction dans l'unité : commandant d'unité
- Formation :
 - qualification : pilote
 - école de spécialisation : école d'application de l'aviation légère de l'armée de terre de Dax
 - année de sortie d'école : 1995
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont EC145	sur tout type	dont EC145	sur tout type	dont EC145
Total (h)	4 337	2 579	96	89	15	15

- Date du précédent vol comme pilote : 19 mai 2016 de jour sur l'EC145
- Contrôle annuel de compétences aéronautiques : 15 mars 2016

1.5.2. Mécanicien de bord treuilliste

- Age : 48 ans
- Unité d'affectation : DAG de Tarbes
 - fonction dans l'unité : mécanicien de bord avionique
- Formation :
 - qualification : mécanicien de bord
 - école de spécialisation : école supérieure du matériel de Bourges
 - année de sortie d'école : 1988
- Heures de vol comme MBO :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont EC145	sur tout type	dont EC145	sur tout type	dont EC145
Total (h)	3 326	1 684	51	51	7	7

- Date du précédent vol comme MBO : 4 mai 2016 de jour sur l'EC145
- Contrôle annuel de compétences aéronautiques : 15 mars 2016

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : gendarmerie nationale
- Commandement organique d'appartenance : CFAGN
- Aérodrome de stationnement : Tarbes Laloubère
- Unité d'affectation : DAG de Tarbes
- Type d'aéronef : EC145 (BK117 C-2)
- Configuration : secours en montagne (treuil, skis, plancher de protection et bac aluminium³)
- Caractéristiques :

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis la visite 100h	Heures de vol depuis la visite 800h
Cellule	BK117 C-2	9014	5 222	10	297
Moteur gauche	ARRIEL 1E2	16034	4 647	10	297
Moteur droit	ARRIEL 1E2	18771	3 355	10	297

1.6.1. Maintenance

La dernière opération de maintenance programmée concerne le contrôle des axes de support avant des moteurs et a été réalisée le 15 mai 2016 à 5 220 heures cellule.

³ La modification « bac aluminium » a fait l'objet d'une fiche de demande de modification au CFAGN le 14 janvier 2014 (annexe 1) qui n'a pas été acceptée. Il s'agit d'une modification mineure au certificat d'examen de navigabilité. Elle ne fait pas l'objet d'un acte technique. Elle constitue un léger écart à la navigabilité.

L'examen de la documentation technique témoigne d'un entretien conforme aux programmes de maintenance en vigueur.

1.6.2. Performances

Le manuel de vol définit trois catégories de limites :

- dans l'effet de sol (DES) ;
- DES avec un vent de travers de 17 kt ;
- hors effet de sol (HES).

Il est précisé dans le manuel de vol que la manœuvrabilité de l'appareil à une altitude et température données est garantie si la masse est inférieure à une masse maximale théorique :

- en vol stationnaire DES : pour des vents de 17 kt dans toutes les directions ;
- en vol stationnaire HES : pour des vents de 30 kt (limités à 17 kt de vent de travers droit).

Considérant l'altitude de 3 150 m et la température aux environs de 3°C, les masses maximales théoriques sont :

- DES : 3 440 kg
- DES vent de travers 17 kt : 3 140 kg
- HES : 3 300 kg

1.6.3. Masse et centrage

La masse estimée au moment de l'accident est de 3 014 kg.

Le centrage au regard de la position des secouristes, des sacs embarqués et de l'absence de séquence de treuillage est conforme aux normes tant au plan longitudinal que latéral.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F-35
- Quantité de carburant au décollage : 420 L
- Quantité de carburant estimée au moment de l'évènement : 315 L

1.6.5. Autres fluides

- Huile hydraulique : H-515
- Huile boîte de transmission principale (BTP) et groupe turbo moteur : O-156

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions de Météo France (bulletin pour le lundi 20 mai 2016)

Les conditions météorologiques prévues (TAF de Tarbes de 9h43) sont les suivantes : quelques nuages à 2 500 ft sur Pau et ciel clair sur Tarbes, visibilité supérieure à 10 km, vent variable pour 2 kt, température de 18°C, pression de 1 023 hPa et aucun phénomène aérologique significatif.

1.7.2. Estimation météorologique de la cellule enquêtes aéronautiques Sud-Ouest

– Situation générale sur la chaîne pyrénéenne :

« Marais barométrique à tendance anticyclonique en marge d'un secteur chaud sur le nord de la région. »

– Conditions estimées au lieu de l'accident - Couloir de Gaube - Commune de Cauterets :

- nuages (hauteur/sol) : ciel clair ;
- phénomène particulier : néant ;
- visibilité au sol : supérieure à 10 km ;
- vent au FL⁴ 50 : variable 5 kt max ;
- vent au FL 100 : 360 ° 10/15 kt ;
- température au FL 50 : 10°C à 13°C ;
- température au FL 100 : 2°C ;
- pression : QNH⁵ 1023 hPa.

1.7.3. Observations de l'équipage et des militaires du PGHM

Au moment de la mission, l'équipage et le personnel au sol constatent un vent faible à nul avec une inversion du sens par rapport au matin.

1.8. Aides à la navigation

Une carte défilante électronique avec localisation par GPS⁶, dite système *EuroNav*, est affichée en permanence sur le *navigation display*⁷.

1.9. Télécommunications

L'aéronef dispose de plusieurs moyens de radiocommunication dont deux postes VHF⁸ pour les échanges avec les organismes aéronautiques et les unités de secours en haute montagne, ainsi que de systèmes propres à la gendarmerie (réseaux tactiques).

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

Sans objet.

⁴ FL : *flight level* - un niveau de vol est en aéronautique une altitude exprimée en centaines de pieds au-dessus de la surface isobare de 1013.25 hPa.

⁵ QNH est un code international, qui désigne la pression atmosphérique (en hPa), convertie au niveau de la mer selon les conditions de l'atmosphère standard.

⁶ *Global positioning system* – système de positionnement global.

⁷ *Navigation display* – écran de suivi de la navigation.

⁸ Très haute fréquence (*very high frequency*) aéronautique de 117,975 à 137,000 MHz.

1.11. Enregistreurs de bord

L'aéronef n'est équipé ni enregistreur de paramètres (FDR⁹) ni d'enregistreur de voix (CVR¹⁰). Il dispose toutefois d'un enregistreur de maintenance de type *usage and monitoring system – solidstate quick access recorder* (UMS-SSQAR) répertorié comme *medium aircraft recording and monitoring system* (MARMS) par l'industriel. Il enregistre toutes les alarmes et dépassements ainsi que les paramètres de vol les plus importants. Leur liste fait l'objet de l'annexe 2.

Les données sont enregistrées sur une carte mémoire amovible au format *personal computer memory card interface adaptator* (PCMCIA) par le *data transfert unit* (DTU). Le DTU reçoit ces données par paquets toutes les 4 secondes en provenance du MFDAU (*miscellaneous flight data acquisition unit*).

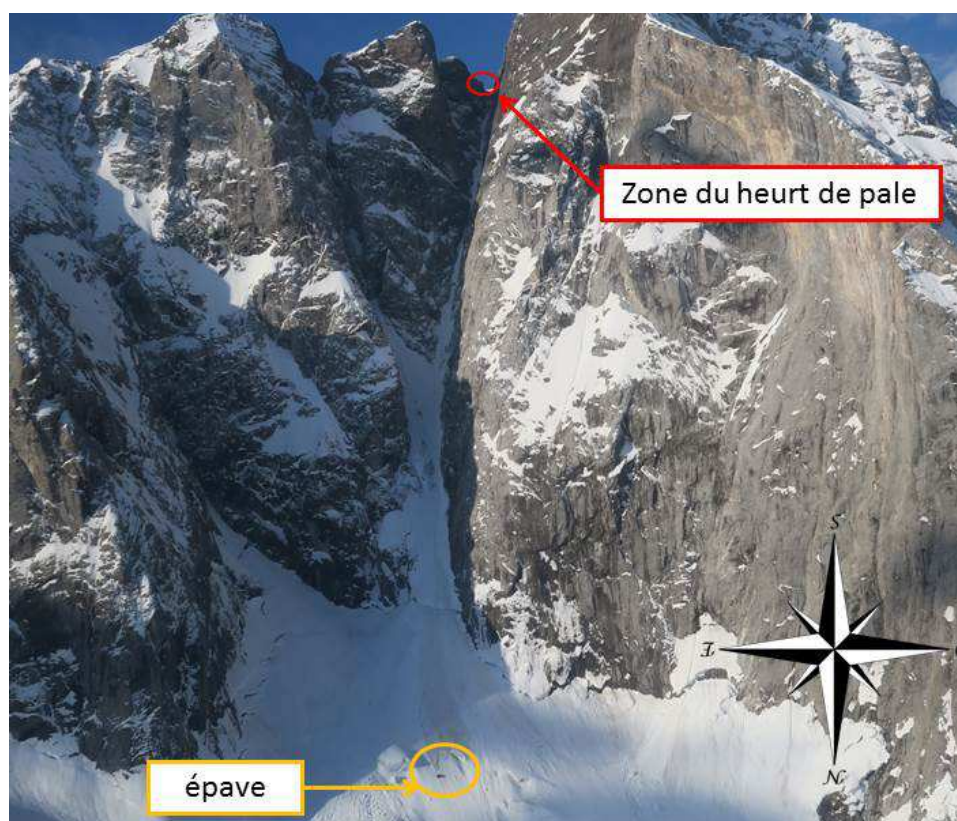
Ce boîtier ne bénéficie d'aucune protection contre le choc, ni le feu.

Ejectée lors de l'accident, la carte PCMCIA a été retrouvée intacte lors de recherches spécifiques.

1.12. Renseignements sur l'impact et sur l'épave

1.12.1. Examen de la zone

L'épave est retrouvée quelques centaines de mètres en-dessous de la sortie du couloir de Gaube sur le glacier à une altitude d'environ 2 550 m.



Vue générale du site

⁹ FDR : *flight data recorder*.

¹⁰ CVR : *cockpit voice recorder*.



Répartition des principaux débris

La cellule est disloquée et compactée.



Vue de l'épave après sécurisation

Les deux moteurs se sont désolidarisés de la cellule.



Vue du moteur gauche



Vue du moteur droit

Un morceau du patin gauche est retrouvé dans le couloir.
Des traces de heurts de pale sont observées au niveau de la brèche.



Vue de la zone heurtée par les pales

1.12.2. Examen de l'épave

1.12.2.1. Opérations de récupération de l'épave

Compte tenu de la dangerosité du site en haute montagne (crevasses et risque d'avalanche), le groupe d'enquête n'a pu se rendre ni au niveau de la Brèche de Gaube ni sur le glacier où reposait l'épave.

La partie principale de la cellule, les deux moteurs et le treuil ont été hélitreuillés le 21 mai 2016 par un hélicoptère Ecureuil AS 350 B3 d'une société civile et par deux EC145 de la gendarmerie. Ils ont fait l'objet d'un examen par le groupe d'enquête au niveau du refuge du Clot (commune de Cauterets) puis ont été transportés par voie routière vers un hangar du camp de Ger dans la soirée.

Après leur identification et le relevé de leur positionnement, les éléments désolidarisés de la cellule ont été rassemblés dans deux sacs. Ces deux sacs ont été hélitreuillés le 23 mai 2016 par un Ecureuil AS 350 B3 et ont été acheminés au camp de Ger. Ces éléments ont fait l'objet d'un examen par le groupe d'enquête le 23 mai 2016.

Les différents éléments récupérés ont été envoyés fin mai vers les centres d'expertise.

De nombreux ratissages ont été organisés en vue de retrouver la carte PCMCIA et le DTU. Ils ont été découverts le 13 juin 2016.

Au cours de ces ratissages la balise de détresse a été localisée au fond d'une crevasse du glacier. Elle n'a pas pu être récupérée. Aucun signal n'a été détecté par le centre de contrôle français de la mission COSPAS-SARSAT¹¹.

1.12.2.2. Examen du 21 mai 2016

- Constatations sur la cellule

La cellule est disloquée et enroulée autour de l'ensemble mât rotor principal (MRP) / BTP. La poutre de queue est rompue et repliée vers la cellule.



Vue de la cellule après hélitreuillage

¹¹Système mondial d'alerte et de localisation de radiobalise de localisation des sinistres.

Le MRP présente des traces d'enfoncement et de choc. Les quatre pales sont délaminiées. La masselotte de la pale jaune est absente.



Vue du MRP et des pales

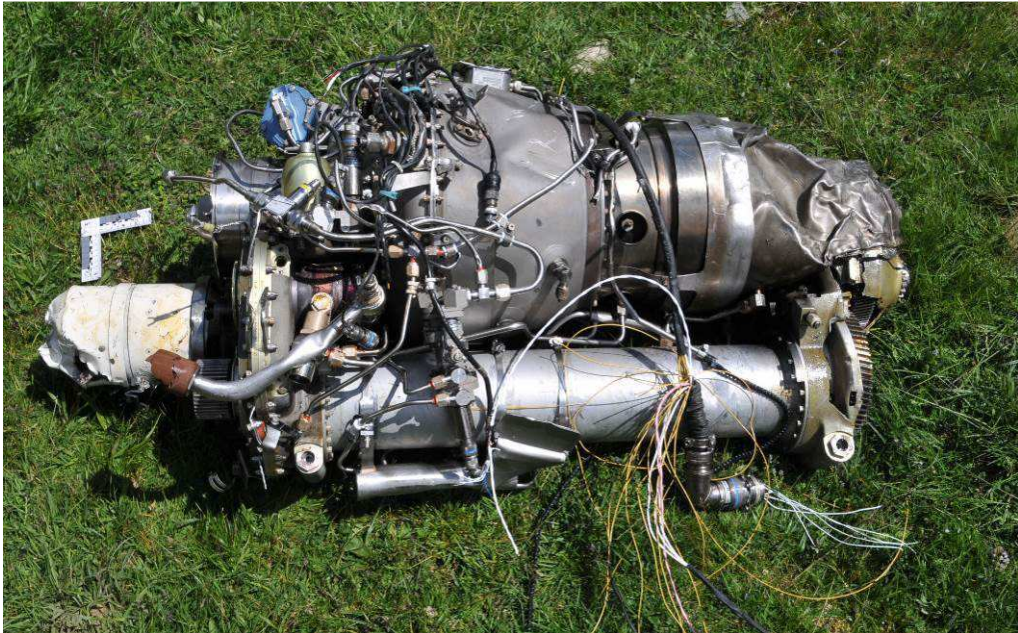
Les pales du rotor anti-couple (RAC) sont détruites à l'implanture.



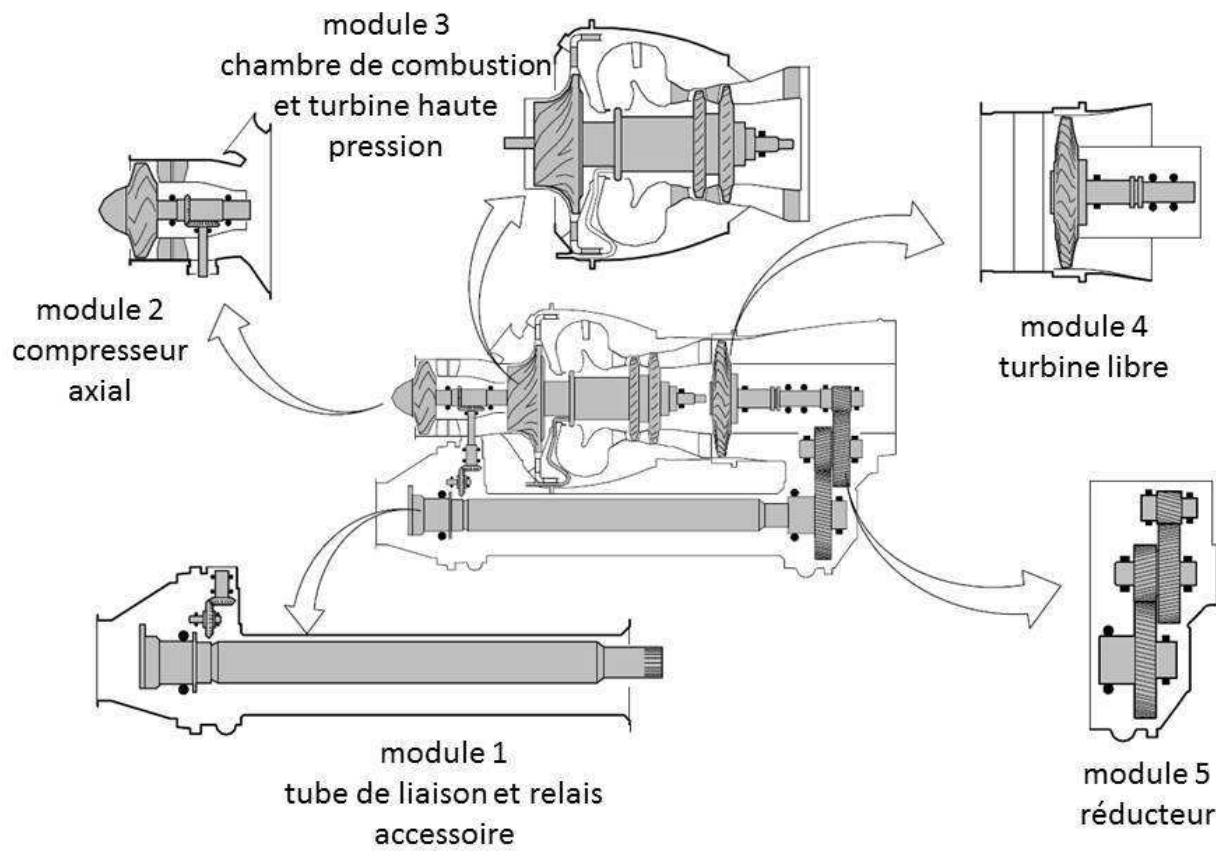
Vue des pales du RAC

- Constatations sur le moteur gauche

Le moteur est gravement endommagé ; il présente de nombreuses traces de choc.



Vue du moteur gauche

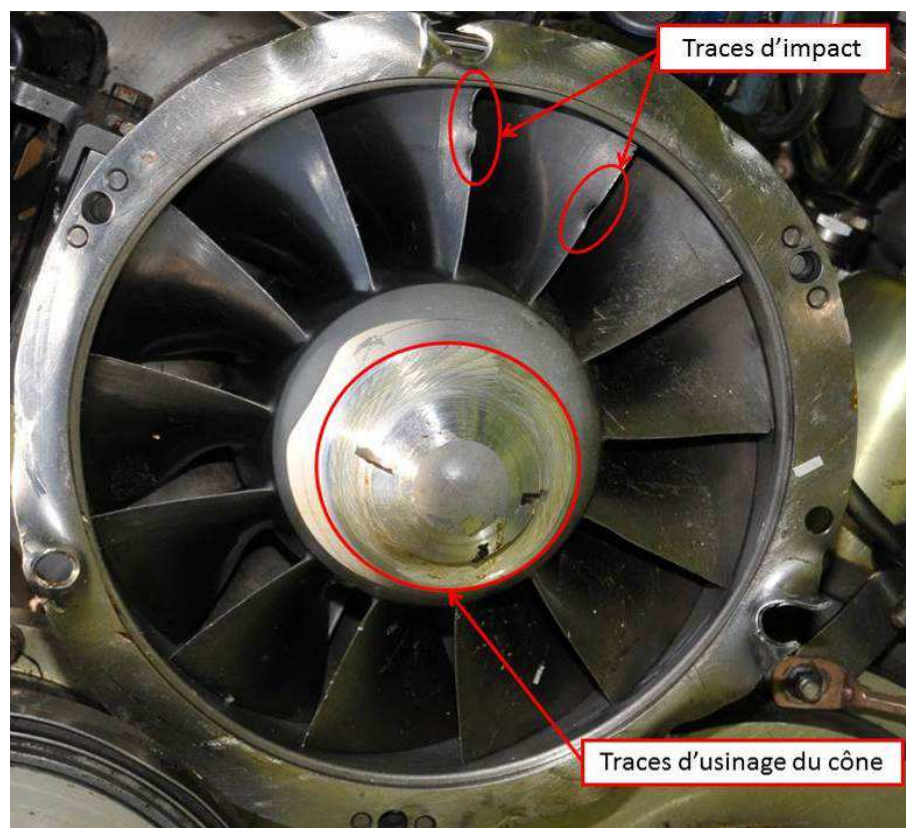


Vue éclatée du moteur et position des modules

Les constatations sur les différents modules sont les suivantes :

- module 1 (tube de liaison et relais accessoire) :
 - le régulateur est absent ;
 - il manque les bouchons magnétiques ;
 - l'ensemble support avant est absent ;
 - les ferrures de fixation sont tordues ;
 - il manque la chape arrière de fixation.

- module 2 (compresseur axial) :
 - l'entrée d'air et le cône présentent des traces d'usinage ;
 - des traces d'impact sur les aubes sont observées ;
 - le générateur de gaz est bloqué ;
 - les trous de fixation d'entrée d'air sont arrachés.



Module 2 : vue des traces d'impact et d'usinage du cône

- module 3 (chambre de combustion et turbine haute pression) : des enfoncements sur le côté droit et sur la partie supérieure du carter turbine sont observés.

- module 4 (turbine libre) :
 - la tuyère est repliée sur elle-même ;
 - le prolongateur de la partie supérieure est arraché.

- module 5 (réducteur) :
 - le carter est rompu ;
 - le réducteur est bloqué.



Module 5 : vue du carter du réducteur

- hors module :
 - la vanne de décharge est fermée ;
 - le boîtier de mesure de température de sortie turbine est éventré ;
 - le boîtier T4 est enfoncé ;
 - le bouchon magnétique à signalisation est absent.

- Constatations sur le moteur droit

Le moteur droit présente des traces de chocs.

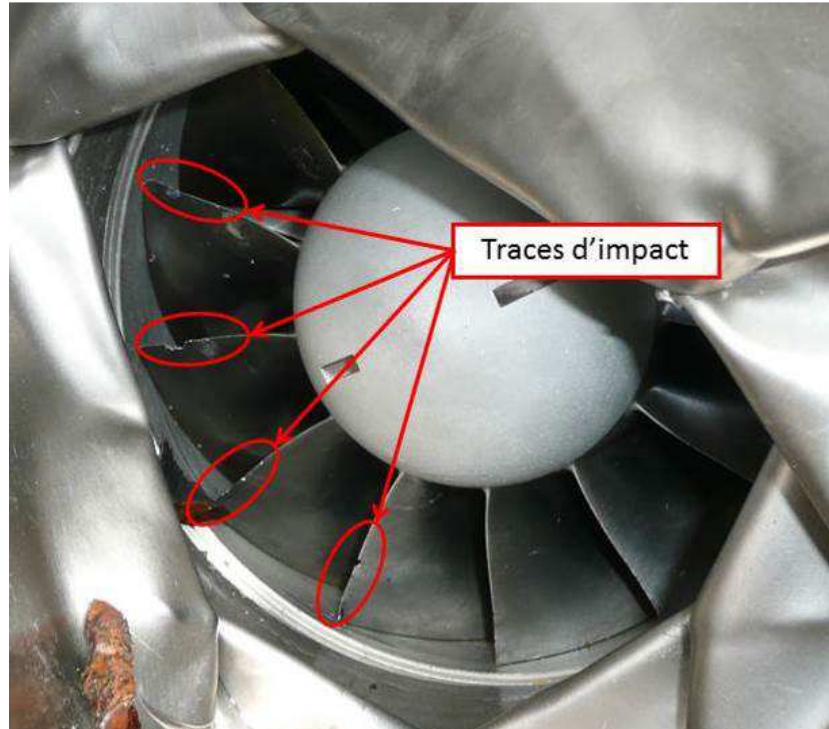


Vue du moteur droit

Les constatations sur les différents modules sont les suivantes :

- module 1 :
 - le tube et le carter sont en bon état ;
 - il manque un des deux bouchons magnétiques ; sur le bouchon présent il n'y a pas de limaille.

- module 2 :
 - le générateur de gaz est libre en rotation ;
 - on observe un enfoncement important du conduit de la vanne de décharge dans le couvercle compresseur centrifuge ;
 - la bride de fixation du conduit d'entrée d'air est déformée ;
 - des traces d'impact sur les aubes sont observées.



Module 2 : vue des traces d'impact

- module 3 : le carter turbine présente de multiples traces d'enfoncement.
- module 4 : le module est en bon état.
- module 5 : des traces de choc sont observées sur la partie arrière.
- hors module :
 - la vanne de décharge est ouverte ;
 - le bouchon magnétique à signalisation est présent, un prélèvement d'huile y a été effectué.

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Membres d'équipage

1.13.1.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical¹² :
 - type : visite médicale à l'unité (expertise en CEMPN le 30 avril 2015 apte 24 mois)
 - date : 01 avril 2016
 - résultat : apte sans restriction
 - validité : 6 mois
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : mortelles

1.13.1.2. Mécanicien de bord treuilliste

- Dernier examen médical :
 - type : visite médicale à l'unité (expertise en CEMPN le 03 juillet 2015 apte 24 mois)
 - date : 14 janvier 2016
 - résultat : apte sans restriction
 - validité : 6 mois
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : mortelles

1.13.2. Militaires du PGHM

Blessures : mortelles

1.14. Incendie

Sans objet.

1.15. Organisation des secours

Les militaires présents au sommet, témoins de l'évènement, informent le PGHM de l'accident par liaison radio. A 12h08, le peloton sollicite l'équipage Dragon 64 de la sécurité civile de Pau pour intervenir. Dragon 64 termine sa mission de SAMU et quitte Pau à 12h24.

A 12h47, il récupère un médecin et un secouriste des compagnies républicaines de sécurité à Gavarnie qui se sont portés volontaires pour compléter les secours. Un peu avant 13h00 les trois militaires du PGHM sont déposés sur le site de l'épave. L'équipe d'alerte est déposée sur le site vers 13h15.

Ils sont rejoints par un EC145 du DAG de Pamiers, venu compléter le dispositif. Un hélicoptère PUMA SAR¹³ de Cazaux a été alerté à 12h30. Il a décollé à 13h00 et il est arrivé à Tarbes à 13h30. Il n'a pas été utilisé sur le site du fait des risques dus à la puissance de son souffle rotor.

¹² Circulaire n°85000 du 13 novembre 2015.

¹³ SAR *search and rescue* : recherche et sauvetage.

1.16. Essais et recherches

Le département restitution des enregistreurs de données d'accidents (RESEDA) de DGA EP a réalisé l'exploitation des données de l'UMS et des vidéos des deuxième et troisième rotations réalisées par un des trois militaires restés au sommet.

DGA EP a analysé les fluides prélevés.

DGA TA a réalisé les investigations techniques sur :

- les éléments constitutifs des commandes de vol ;
- le siège pilote et ses rails, afin de déterminer la position du siège ;
- la tête du rotor principal ;
- les morceaux de plexiglas composant le pare-brise ;
- le RAC et ses arbres de transmission ;
- l'essuie-glace ;
- la cellule.

Safran Helicopter Engines a été consulté pour l'analyse des données moteur et les constatations sur site.

L'IRCGN a réalisé une modélisation 3D de la zone.

L'IRBA a réalisé une étude dans le domaine des facteurs organisationnels et humains (FOH).

Météo France a réalisé une modélisation des écoulements d'air sur le lieu de l'accident.

Airbus Helicopters a été consulté pour l'analyse des données et les constatations sur site, et a réalisé avec une société partenaire iwi une animation 3D en vue subjective depuis le cockpit. Cette animation modélise la zone depuis la position du siège pilote lors de l'évènement.

1.17. Renseignements sur les organismes

Le détachement aérien de Tarbes est situé sur l'aérodrome de Tarbes Laloubère. Il a été créé en 1963. Il dépend de la section aérienne de gendarmerie de Toulouse.

Trois pilotes et quatre mécaniciens y sont affectés. Ils assurent la mise en œuvre d'un hélicoptère de type EC145.

Les personnels du DAG assurent des missions de sécurité publique sur le département ainsi que des missions de secours et d'intervention en montagne.

PAS DE TEXTE

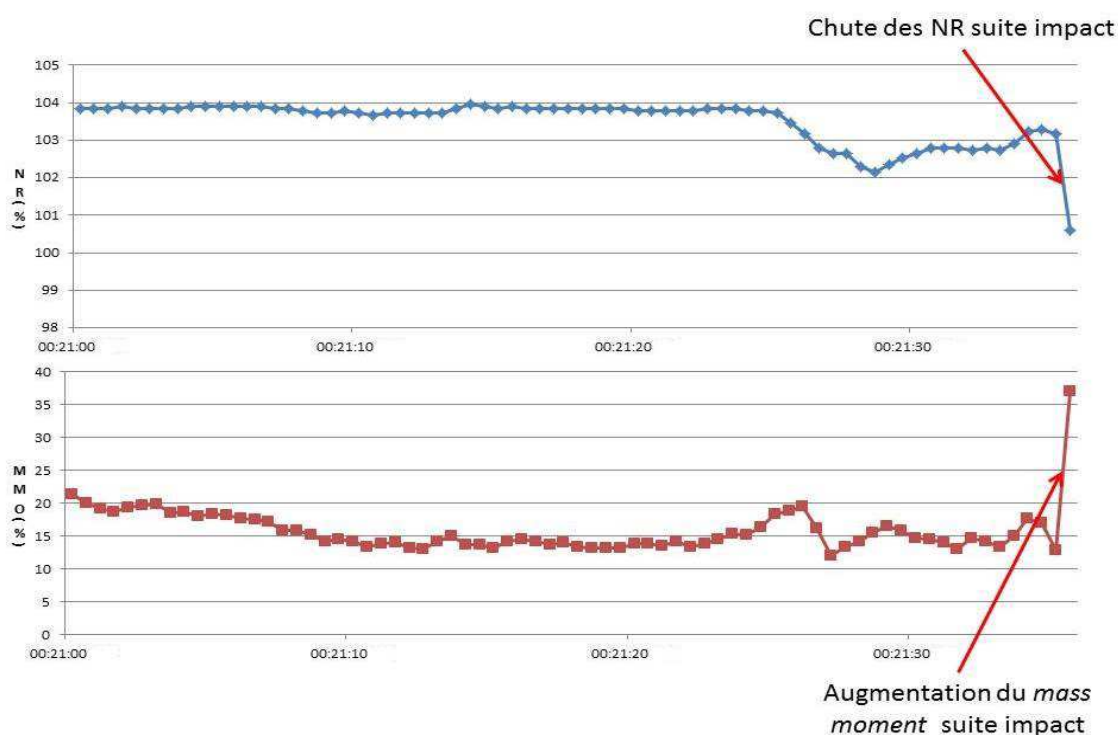
2. ANALYSE

L'analyse s'appuie sur les résultats des expertises, sur les constatations et les témoignages. Elle présente dans un premier temps les résultats des différentes expertises, puis décrit le scénario de l'évènement, et enfin recherche les causes de l'accident.

2.1. Résultats des expertises

2.1.1. Exploitation des données de l'UMS

Les données ont pu être extraites puis exploitées par RESEDA, Safran Helicopter Engines et Airbus Helicopters. Elles permettent de restituer le vol jusqu'à 0,5 s¹⁴ après le premier heurt de pale.



Evolution des paramètres NR¹⁵ et MMO¹⁶ au cours du vol

2.1.1.1. Analyse des paramètres de vol

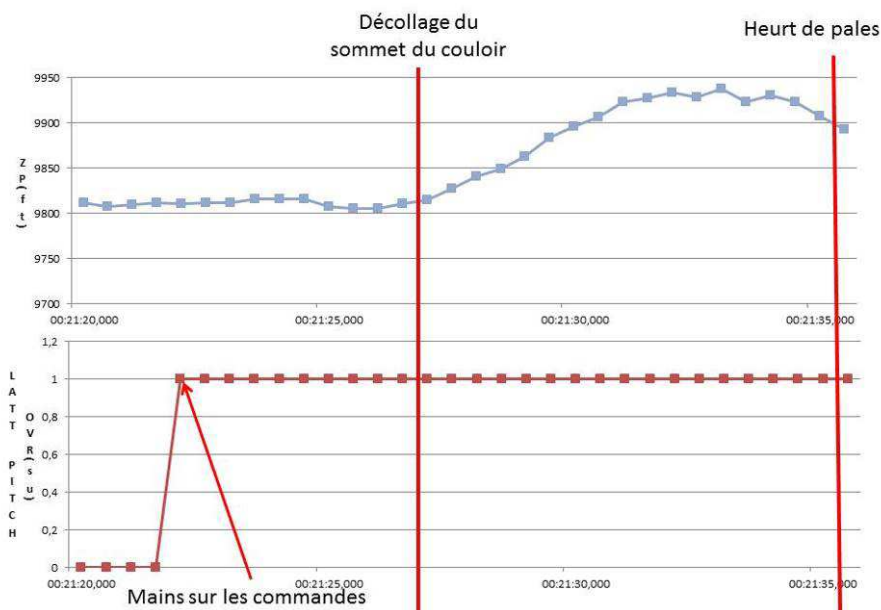
L'analyse des données de l'UMS révèle que :

- aucun déclenchement d'alarme n'est constaté ;
- le comportement de l'appareil est cohérent avec les actions aux commandes du pilote ;
- le pilote agit sur les commandes durant l'évènement.

¹⁴ L'enregistrement s'arrête 0,5 s après le heurt de pale car l'UMS enregistre les données toutes les 4 s. Dans cet intervalle de temps (4,5 s après le heurt de pale) l'appareil subit des dommages causant l'arrêt de l'enregistrement.

¹⁵ NR : vitesse de rotation du rotor.

¹⁶ L'EC145 est équipé d'un mât rotor principal rigide. Il subit des contraintes en fonction de la sollicitation des moteurs et de l'évolution de l'appareil. Le *mass moment* (MMO) est la mesure du couple de flexion du mât rotor. Il est exprimé en pourcentage de la valeur maximale admissible.



Evolution des paramètres ZP¹⁷ et LATT_PITCH_OVR¹⁸ au cours du vol

Jusqu'au heurt de pales, l'appareil est piloté et aucun déclenchement d'alarme n'est constaté.

2.1.1.2. Analyse du fonctionnement des turbomoteurs

Il ressort de l'analyse de l'enregistrement de l'UMS que :

- aucun code de panne relatif aux moteurs n'est enregistré lors du vol, à l'exception de l'allumage normal de certains voyants au cours de la séquence de démarrage ;
- les températures de sortie turbine, les couples et les vitesses des générateurs de gaz (N1) sont inférieures aux limitations sur la totalité du vol. Les valeurs maximales de N1 pour les moteurs gauche et droit sont respectivement de 99,6% et 98,3% (la première limitation dans les conditions d'altitude pression et de température lors de l'évènement est de 101,3%) ;
- hors séquence de démarrage des moteurs, les vitesses N1 restent alignées et leur différence n'excède jamais 2%.

Aucune panne liée aux turbomoteurs ou à leur système de régulation n'est à l'origine de l'évènement.

2.1.2. Fluides

L'analyse des prélèvements de carburant, d'hydraulique et d'huile moteur montre que les échantillons correspondent respectivement à du F-35, du H-515/9 et de l'O-156. Aucune pollution organique n'a été mise en évidence.

Dans le carburant, aucune présence d'additif anti-glace type S-1745 n'a été détectée. L'analyse spectrométrique des huiles a révélé la présence de métaux traduisant une usure légère des circuits de lubrifications et des tuyauteries hydrauliques.

¹⁷ ZP : altitude barométrique.

¹⁸ LATT_PITCH_OVR : dépassement du seuil d'effort en tangage.

2.1.3. Constatations et expertises mécaniques

2.1.3.1. Visibilité du pilote

- Pare-brise

En dehors des rayures provoquées par l'accident, les morceaux de plexiglas retrouvés ne présentent aucun signe de vieillissement particulier qui aurait pu générer un manque de visibilité pour le pilote.



Morceaux de plexiglas

Le pare-brise ne présente pas d'anomalie lors de l'évènement.

- Essuie-glace

Le moteur d'essuie-glace présente d'importants dommages empêchant la réalisation d'un essai de fonctionnement.

La correspondance entre la trace sur la platine et la position des bras de l'essuie-glace permet de déterminer que l'essuie-glace se trouvait en position « arrêt » au moment de l'impact final (voir annexe 3).

Il est constaté sur la vidéo du décollage que l'essuie-glace n'est pas en fonctionnement sur toute la partie où il est visible, c'est-à-dire jusqu'à trois secondes avant le heurt de pale.

L'essuie-glace n'est pas en fonctionnement lors du heurt.

2.1.3.2. Commandes de vol

L'ensemble des dommages observés (déformations, ruptures statiques¹⁹) au niveau des éléments des commandes de vol a été causé par l'accident. Aucun dommage de type fatigue ou autre, antérieur à l'accident, n'a été observé.

¹⁹ Une rupture statique est caractéristique d'un effort brusque dont l'intensité est supérieure aux critères de dimensionnement.

Les quatre servocommandes ont été testées et leurs performances sont cohérentes avec la documentation du constructeur.

Les commandes de vol sont en état de fonctionnement au moment de l'accident.

2.1.3.3. Ensemble rotor principal BTP

Les observations effectuées sur les pales et leurs fixations (voir annexe 4) montrent que :

- la pale rouge a subi un choc de plus forte énergie que les autres pales ;
- un des endommagements de la pale verte ressemble à un endommagement secondaire. Cette pale s'est probablement déformée lors de la chute.



Rupture franche à 1m90.

Vue de la pale rouge

L'ensemble des observations sur le rotor principal et la BTP indique que l'avant de la BTP a basculé de la gauche vers la droite. Tous les dommages (ruptures, déformations, ...) sont consécutifs à l'impact.

Le rotor et la BTP sont en état de fonctionnement au moment de l'accident.

2.1.3.4. RAC

L'ensemble des dommages observés (déformations, ruptures statiques, ...) est causé par l'accident. Aucun dommage de type fatigue, antérieur à l'accident, n'a été observé.

L'étendue et la forme des dommages observés sur les pales du RAC sont caractéristiques d'un impact à forte énergie.



Pale du RAC

Le RAC fonctionne normalement avant le heurt des pales principales avec le relief.

2.1.3.5. Structure arrière

La poutre de queue est rompue au niveau de sa jonction avec la cellule de la cabine. Cette rupture est entièrement statique et montre que la poutre de queue s'est déformée puis s'est arrachée en suivant la déformation à 90° de l'arbre de transmission.



Vue de la déformation de l'arbre de transmission

Les parties droite et gauche de l'empennage sont fortement endommagées. Côté gauche, l'empennage présente une dégradation plus importante. La déformation du plan fixe horizontal gauche est caractéristique d'une compression.



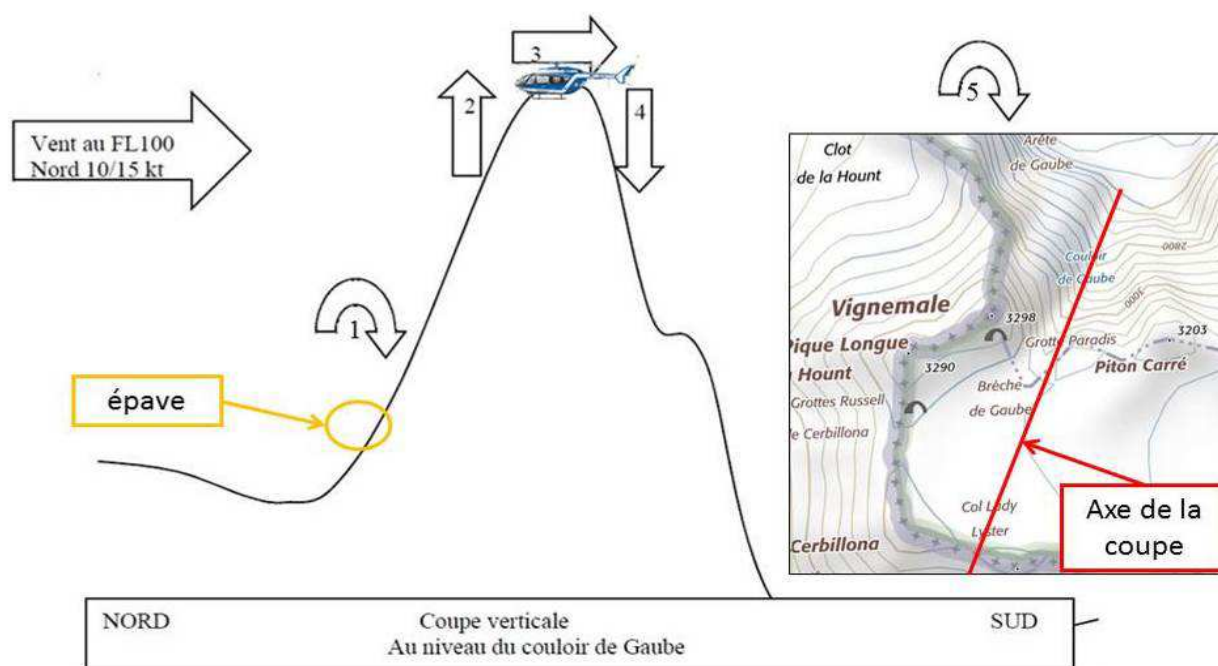
Vue des déformations du plan horizontal gauche

La compression du plan fixe horizontal gauche suivie de la rupture de la poutre de queue est probablement intervenue lors de l'impact de l'hélicoptère avec la paroi nord après le heurt de pales initial.

2.1.4. Expertise météorologique

Une modélisation des écoulements d'air sur le lieu de l'accident a été réalisée. Il en résulte que le flux de nord a pu générer plusieurs phénomènes notables au moment de l'accident :

- un « rotor »²⁰ (1 dans le schéma suivant) à environ 300 m sous la ligne de crête de la face nord ;
- un courant ascendant (2) en haut de la face nord du couloir de Gaube estimé à 6 à 8 kt ;
- une accélération du vent horizontal (3) au niveau de la crête générant un flux estimé à 19 à 23 kt de nord ;
- un courant descendant (4) le long de la face sud (en aval du flux) estimé à 10 à 12 kt ;
- une série d'ondes orographiques orientée ouest/est (5) en aval du flux au sud de la ligne de crête.



Le soleil n'était pas dans le champ visuel du pilote.

Aucun phénomène météorologique défavorable n'a été identifié.

2.1.5. Synthèse

L'ensemble des constats effectués lors des expertises et de l'exploitation des données enregistrées montre que :

- les évolutions de l'appareil sont pilotées en permanence ;
- il n'y a aucune défaillance mécanique, ni au niveau de la motorisation, ni au niveau des chaînes de transmission de puissance ;
- il n'y a aucune anomalie sur la chaîne des commandes de vol ;
- aucun phénomène météorologique défavorable n'est identifié.

²⁰ Terme météorologique : mouvement tourbillonnaire de l'air associé à des ondes orographiques (déplacement d'une masse d'air en relief montagneux).

2.2. Scénario de l'évènement

La description du scénario repose sur l'exploitation de l'enregistreur de maintenance et de la vidéo. La synchronisation du film et des paramètres a été effectuée en comparant l'analyse spectrale du son de la vidéo et du paramètre NR (annexe 5).

- Embarquement

L'aéronef est posé rotor tournant au niveau de la Brèche de Gaube au cap 263°. Un militaire embarque avec un sac. Il récupère deux autres sacs d'un second militaire. Ce dernier embarque à son tour et récupère deux sacs supplémentaires. Le MBO fait alors signe que l'embarquement de personnel et le chargement de matériel sont terminés pour cette rotation.

Le MBO remonte à bord. Le pilote tire sur le pas général. Les régimes et couples atteignent les valeurs suivantes :

- N1.1=96,4% ; TRQ1=66,2%.
- N1.2=95,9% ; TRQ2=68,4%.

- Décollage

L'appareil décolle à T0.

A T0 + 3s, après avoir pris environ 5 m de hauteur, le pilote fait pivoter l'hélicoptère vers la droite. Cette manœuvre par la droite est plus économe en puissance, l'EC145 ayant une tendance à tourner dans ce sens du fait que son rotor principal tourne dans le sens antihoraire.

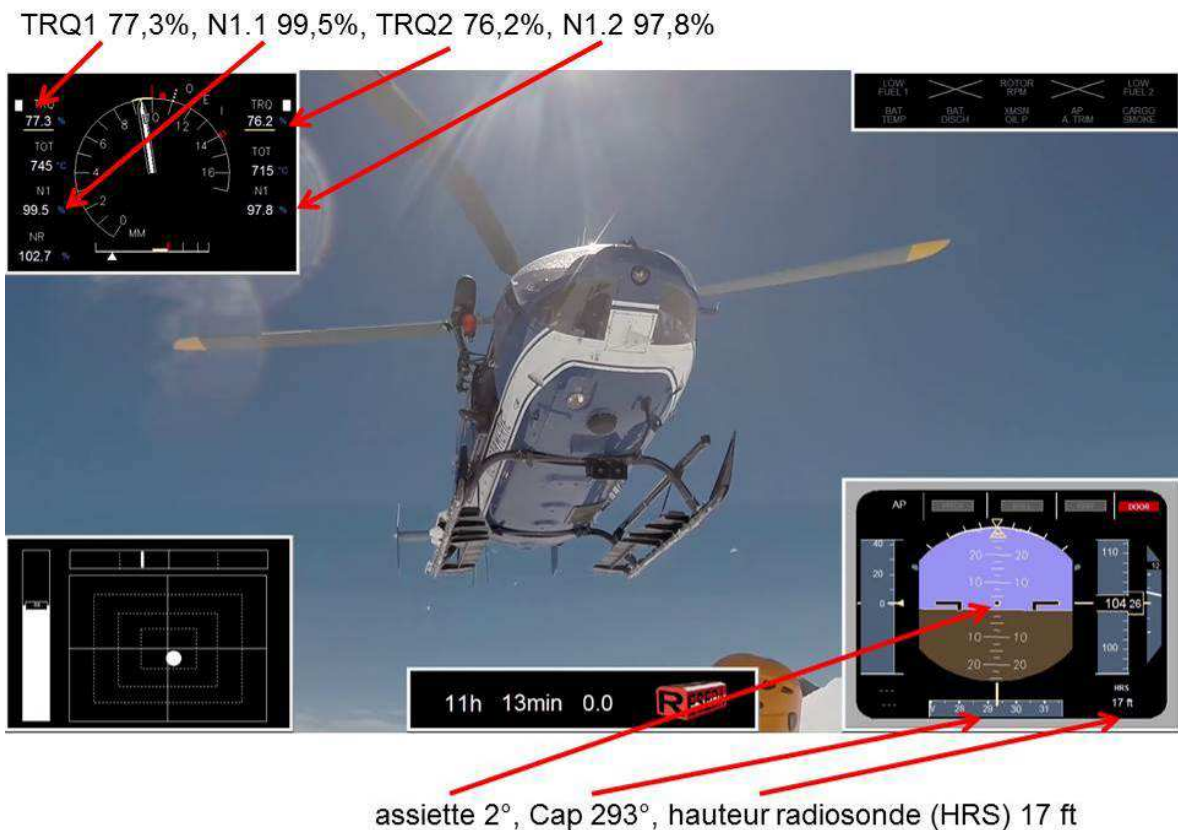


Image synchronisée vidéo / paramètres à T0 + 3 s

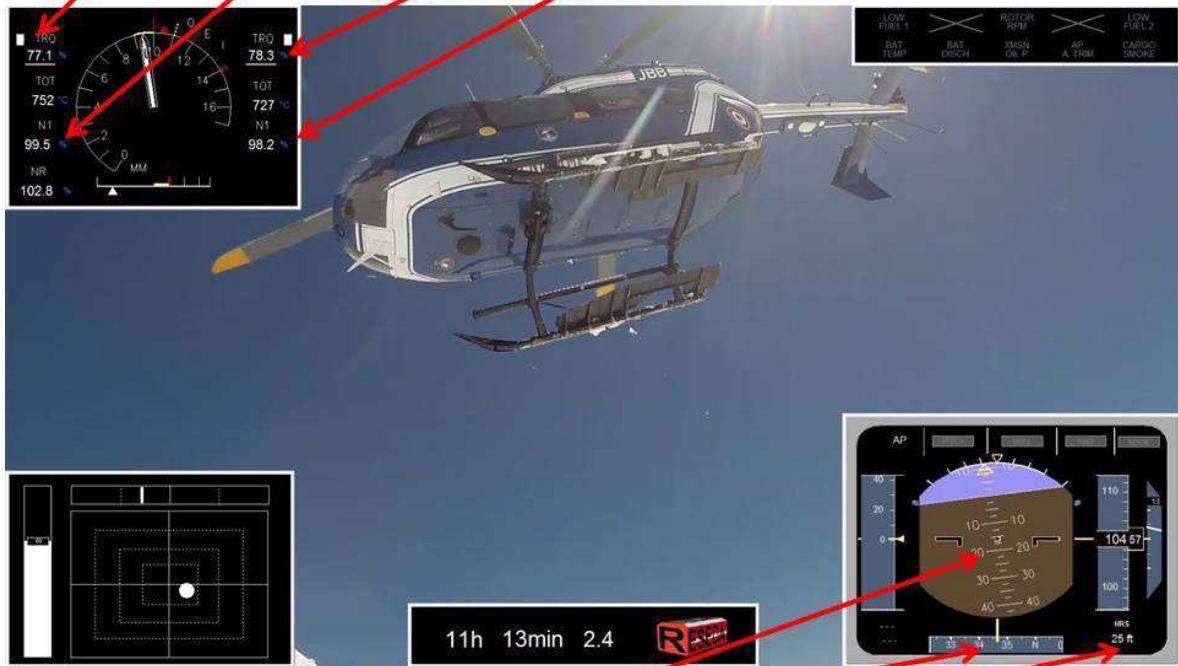
- Montée initiale

Le pilote continue de faire pivoter l'hélicoptère sur la droite en prenant de l'altitude.

- Translation

A T0 + 5,5s, le MBO ferme la porte, le pilote diminue l'assiette de l'appareil puis commence la translation.

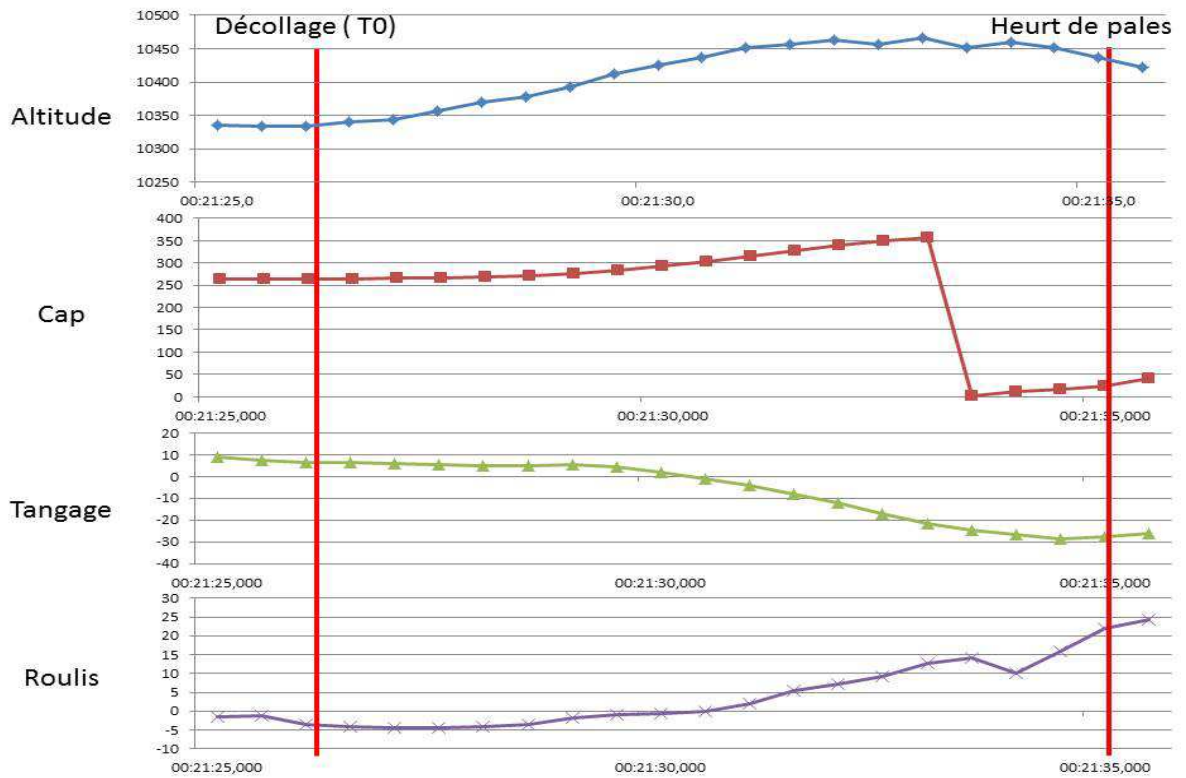
TRQ1 77,1%, N1.1 99,5%, TRQ2 78,3%, N1.2 98,2%



Assiette -15°, Cap 345°, HRS 25 ft

Image synchronisée vidéo / paramètres après fermeture de la porte T0 + 5,5 s

L'appareil s'engage dans le couloir de Gaube entre le Pic du Vignemale à gauche et le Piton Carré à droite. Le pilote suit le relief en serrant à droite. Il diminue l'assiette jusqu'à -30°.



Evolution des paramètres ZP et des attitudes au cours du vol

- Heurt

Les quatre pales heurtent le relief à droite à T0 + 8s et se brisent.

TRQ1 78%, N1.1 97,9%, TRQ2 78,9%, N1.2 96,8%



assiette -27°, Cap 27°, HRS 41 ft

Image synchronisée vidéo / paramètres lors du heurt de pales T0 + 8 s

Scénario le plus probable après le heurt de pales

Suite au contact des pales principales avec l'arête rocheuse, la cellule pivote sur la droite tout en perdant de l'altitude.

L'empennage arrière côté gauche et le RAC viennent ensuite frapper la paroi nord un peu plus bas à droite, ce qui provoque le blocage du RAC, la déformation à 90° de l'arbre de transmission et la rupture de la poutre de queue à la jonction avec la cellule.

Par la suite, l'ensemble de la cellule chute et vient heurter les rochers le long de la paroi. La cellule est détruite.

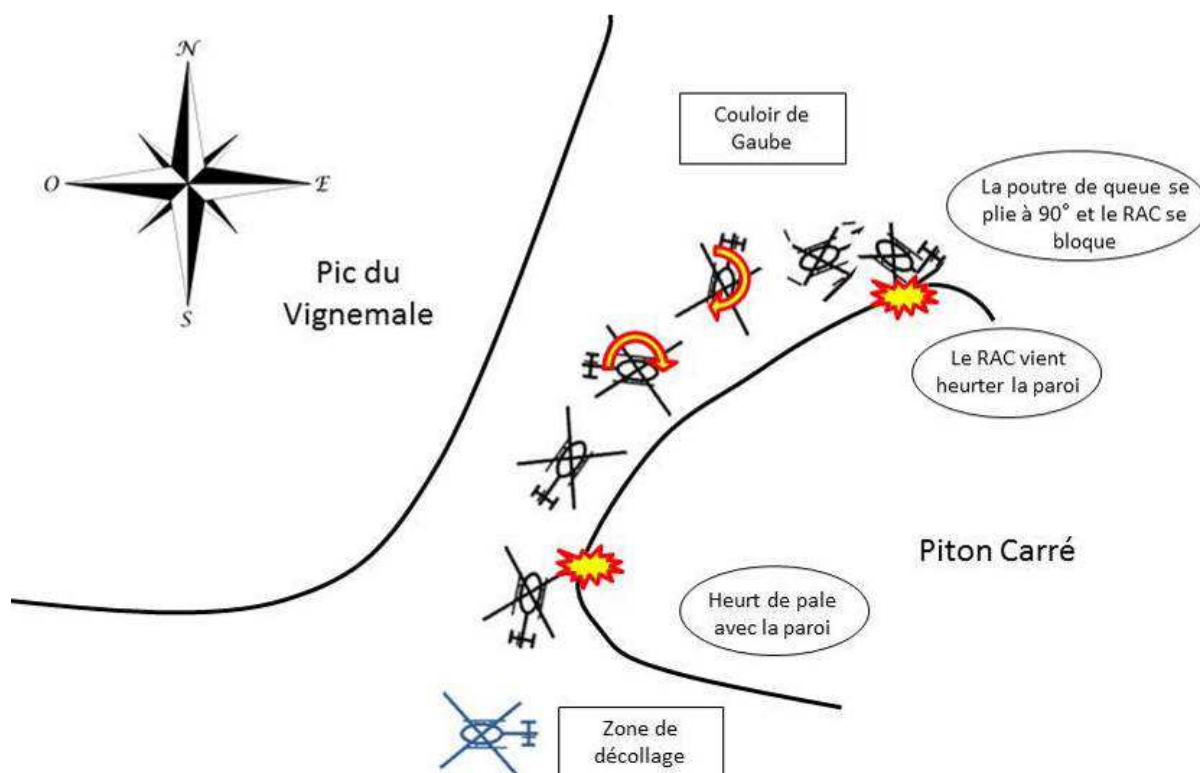


Illustration du scénario (vue du dessus)

2.3. Recherche des causes relevant des facteurs organisationnels et humains

2.3.1. Nature du vol

Il s'agit d'une mission de vol en haute montagne réalisée à plus de 3 150 m à masse élevée au profit du PGHM de Pierrefitte-Nestalas dans le cadre du plan d'emploi mensuel. Elle consiste en une mise en place de cinq militaires du PGHM et de leur équipement au niveau de la Brèche de Gaube, puis en leur récupération à l'issue de leur entraînement.

Les conditions météorologiques sont favorables.

Ce type de mission en environnement périlleux est fréquent. Il fait partie de l'activité régulière du détachement. Si les évolutions en haute montagne nécessitent une haute technicité, les caractéristiques du vol au moment de l'accident ne présentent pas de difficulté exceptionnelle.

2.3.2. Personnes à bord

Il y a quatre personnes à bord : un pilote, un MBO et deux militaires du PGHM.

Le pilote et le MBO ont une grande expérience aéronautique : 4 337 heures (2 579 heures sur l'aéronef) pour le pilote et 3 326 heures (1 684 heures sur l'aéronef) pour le MBO.

De plus, ils ont une solide expérience du vol en montagne. Qualifié pilote montagne depuis 2004, le pilote est affecté au DAG de Tarbes depuis août 2008, soit depuis près de 8 ans. Le MBO quant à lui est formé montagne et affecté au DAG depuis 2004.

Les membres d'équipage et les passagers se connaissent tous et ont l'habitude de réaliser des missions ensemble.

L'expérience de l'équipage de conduite au vol en haute montagne est solide et la culture aéronautique des autres personnes à bord est favorable à une bonne synergie.

2.3.3. Trajectoire au décollage

2.3.3.1. Choix de l'axe de décollage

Pour son décollage, le pilote avait trois possibilités :

- un axe de décollage vers le sud ;
- un axe vers l'est, reprenant à l'inverse la trajectoire d'arrivée ;
- l'axe du couloir de Gaube, en direction du nord.

Chacune de ces trajectoires est envisageable et présente des avantages et des inconvénients. La trajectoire par le sud suit un itinéraire initial à l'opposé du point de destination (le Pont d'Espagne) et engendrerait une incursion en Espagne.

Le demi-tour vers l'est est peu risqué mais présente l'inconvénient d'effectuer à chaque rotation un détour estimé à environ deux minutes.

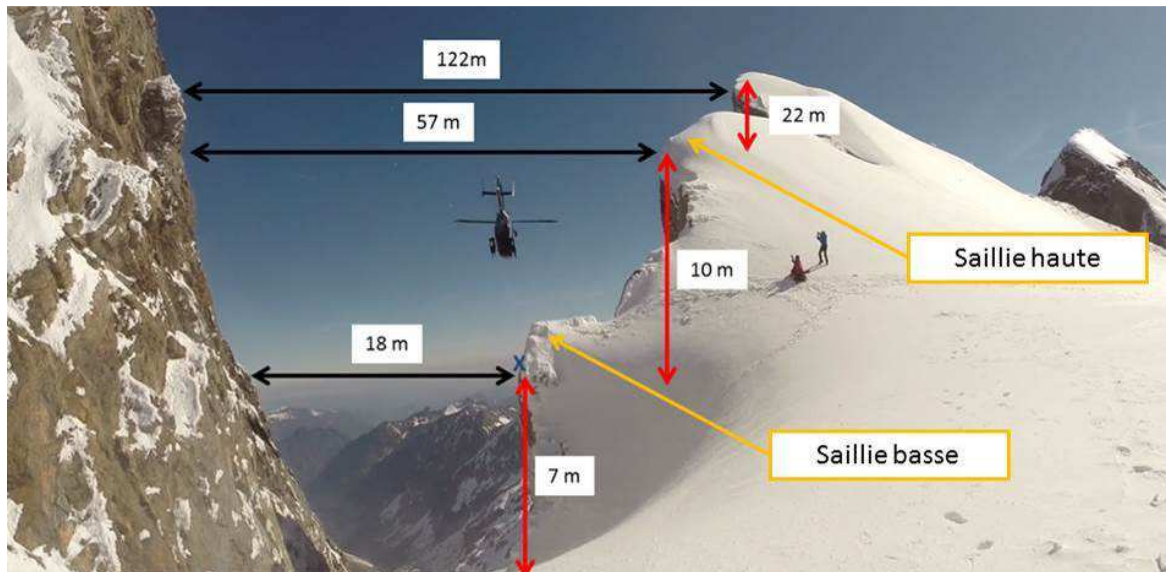
Enfin, le passage par le couloir de Gaube, choisi par le pilote, est l'itinéraire le plus court vers le Pont d'Espagne (situé plein nord), mais il consiste à passer entre deux parois rocheuses.

Dans tous les cas, le vent (force et direction) n'est pas limitatif. Les axes vers le nord et vers l'est sont couramment utilisés par l'équipage. Lors des précédentes rotations effectuées le même jour le pilote a choisi à chaque fois l'axe vers le nord.

Le choix de l'axe vers le nord est adapté aux conditions du moment et offre un gain de temps significatif au regard du nombre de rotations.

2.3.3.2. Hauteur du décollage

Le pilote a évolué dans la partie la plus étroite du couloir de Gaube.



Caractéristiques du passage dans le couloir de Gaube (photo prise lors de la deuxième rotation)

La hauteur de 7 m prise par l'hélicoptère avant la mise en translation est trop faible : elle ne garantit pas de marge suffisante vis-à-vis de l'obstacle constitué par la saillie basse du Piton Carré. A cette hauteur, la largeur du couloir est de 18 m pour un diamètre rotor de 11 m.

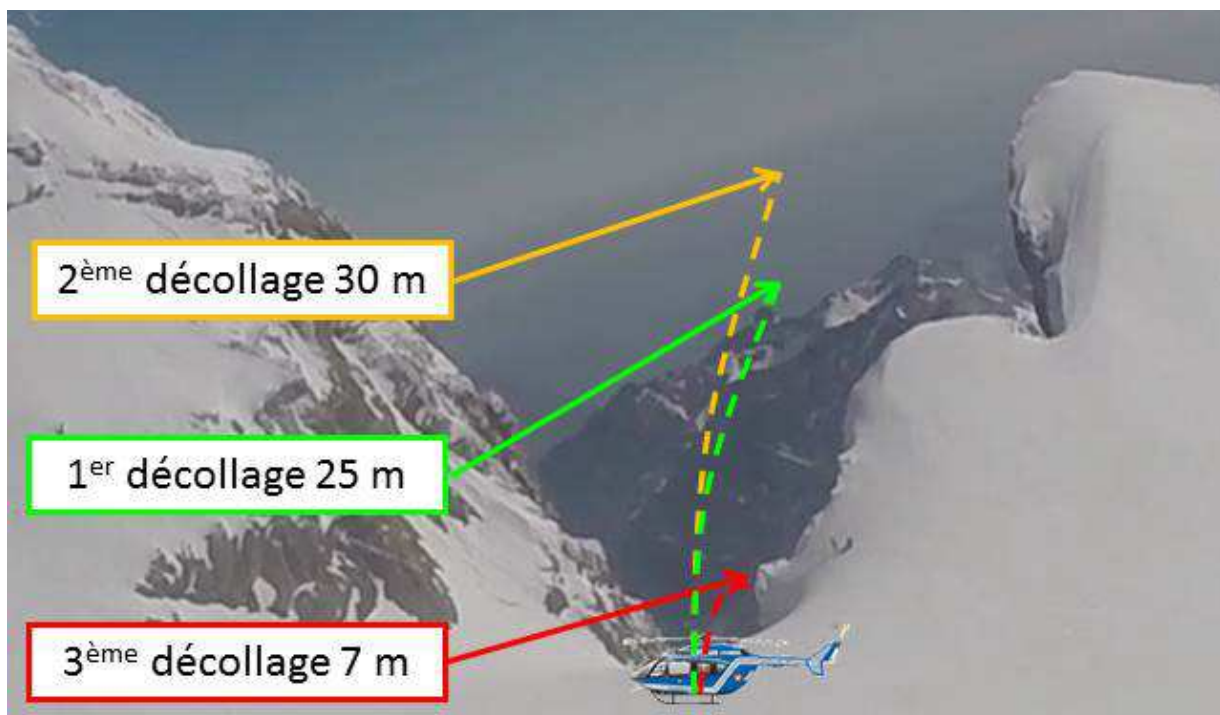
Dans les conditions du jour le premier paramètre moteur limitatif aurait été le N1. L'analyse des paramètres de vol indique que les N1 maximales atteints lors du troisième décollage sont de 99,6% pour le moteur gauche et de 98,3% pour le moteur droit. La première limitation (à 101,3% dans les conditions du jour) n'est donc pas atteinte. Le pilote avait également la possibilité d'utiliser le régime transitoire pendant 12 secondes et d'aller jusqu'à 103,3%. En haute montagne, les pilotes travaillent régulièrement en plage de précaution (plage jaune entre 9 et 10 sur le *flight limit indicator*) avant d'atteindre le régime transitoire.

Le pilote disposait d'une réserve de puissance pour prendre plus de hauteur.

L'analyse des paramètres de vol montre que pour les deux premiers décollages, la trajectoire de l'hélicoptère passait au-dessus de la saillie basse. On peut donc émettre l'hypothèse que pour ce troisième décollage, l'intention du pilote était de suivre une trajectoire similaire.

Cependant, on observe que :

- aucune action corrective n'a été initiée pour augmenter la hauteur de vol ;
- la différence de prise de hauteur est importante entre les deux premiers décollages (respectivement 25 m et 30 m) et le dernier (7 m) ;
- la mise en translation et la prise d'assiette négative ont été plus rapides au troisième décollage que lors des deux précédents ;
- le pilote avait juste le temps de rectifier sa trajectoire en s'engageant dans le couloir avant de heurter la saillie basse, sous réserve qu'il dispose d'une représentation exacte de la situation.



Représentation des différentes hauteurs de décollage

Le pilote n'a pas jugé nécessaire de majorer la hauteur de vol en passant dans le couloir.

2.3.3.3. Hypothèses d'un comportement à risque

La trajectoire dans la partie la plus étroite du couloir ne répondait à aucune nécessité opérationnelle. Le pilote aurait alors pu choisir une telle trajectoire dans un but de recherche de sensations.

Les témoignages recueillis lors de l'enquête décrivent le pilote comme une personne qui respecte les procédures, à l'opposé d'un « preneur de risques », et dont la personnalité ne correspond pas à une telle quête de sensations au détriment de la sécurité. Par ailleurs, dans un tel relief, une recherche de sensations consisterait plutôt à adopter une inclinaison et une assiette plus prononcées à partir d'une hauteur plus élevée, ce qui n'est pas le cas ici.

L'hypothèse selon laquelle le pilote a souhaité effectuer un décollage dans la partie la plus étroite du couloir dans un but de recherche de sensations est rejetée.

Une autre motivation possible serait liée à l'éventuelle volonté de présenter une image de pilote « chevronné » à la caméra des secouristes, qui filment et photographient cette phase de vol. Cette hypothèse n'est pas retenue car :

- ces situations de prises de vues sont fréquentes en montagne et il existe d'autres situations plus photogéniques pour valoriser le pilote ;
- alors que précédemment (2^{ème} rotation) des alpinistes amateurs prenaient des photos du décollage, le pilote a adopté une trajectoire nettement plus haute ;

- la personnalité du pilote ne s'accorde pas avec un tel comportement éventuel.

L'hypothèse selon laquelle le pilote a souhaité effectuer un décollage spectaculaire dans un but de valorisation de son action est rejetée.

2.3.3.4. Représentation erronée du relief avant le décollage

Lors des vols de reconnaissance et lors des deux premiers décollages, la hauteur de survol du couloir était bien supérieure à la saillie basse du Piton Carré et n'a pas permis au pilote de se créer une représentation du couloir suffisamment précise, notamment de la partie la plus étroite.

De plus, lors des phases d'atterrissage, ou lorsque le pilote attend l'embarquement ou le débarquement rotor tournant des personnels et de leurs matériels (délai de 30 s lors du troisième décollage), l'hélicoptère est positionné à 90° du couloir de Gaube. La saillie basse du Piton Carré étant alors en arrière à droite de l'hélicoptère, la visualisation précise de son positionnement n'est possible que si le pilote pivote la tête de 90° à droite. La visualisation du couloir et de ses dimensions précises n'était donc pas aisée, ce qui n'a pas permis la construction exacte de sa représentation.

Il est certain que la représentation du relief du couloir par le pilote n'était pas suffisante lors de son troisième décollage.

De surcroît, ce dernier décollage est marqué par une rapidité d'exécution supérieure au deux précédents. Le heurt d'obstacle intervient 8 s après le décollage, et on observe l'exécution non décomposée des trois actions : prise de hauteur, rotation à droite et mise en translation.

Lors du décollage précédent, l'exécution est plus lente et séquentielle : le franchissement du Piton Carré intervient 14 s plus tard, avec un enchaînement distinct des trois phases de décollage.

La rapidité avec laquelle le pilote réalise son troisième décollage suggère qu'il n'a pas conscience des lacunes de sa représentation mentale du couloir. Ce plan d'action accéléré est construit à partir d'une représentation erronée du couloir de Gaube.

L'emprunt d'une trajectoire à faible hauteur est dû à une représentation imprécise du relief avant le décollage.

2.3.3.5. Sentiment de maîtrise du risque

Le sentiment de maîtrise d'une situation à risques dépend du niveau d'expertise de l'opérateur et de sa familiarisation avec la situation. Plus spécifiquement, elle se forme à partir du niveau de confiance en soi et du niveau de confiance dans la machine. L'expérience positive vécue dans une situation donnée va renforcer la confiance en soi et la capacité à contrôler une situation analogue dans le futur.

Les éléments recueillis lors de l'enquête indiquent que le pilote peut aisément éprouver un sentiment de maîtrise lors du décollage dans le couloir de Gaube :

- il a une expérience de 8 ans de vol en montagne dans les Pyrénées. Il est considéré comme un expert du vol en haute montagne. Il est habitué à voler à proximité des parois ;
- au cours des deux dernières années, il a effectué plusieurs vols dans le massif du Vignemale (deux en 2014 et cinq en 2015) ;
- le jour de l'évènement, le pilote réalise son troisième décollage sur le glacier, précédé de vols de reconnaissance. De plus, les deux premiers décollages ont été réalisés de manière procédurale, en enchaînant distinctement les trois phases de décollage et en prenant une hauteur de décollage supérieure à la hauteur nécessaire, ce qui indique une mise en confiance progressive et la volonté d'assurer un passage en sécurité en minimisant les risques liés aux obstacles rocheux.

L'expérience du pilote, son expertise du vol en haute montagne et sa familiarisation, depuis le début de la matinée, avec les décollages dans le couloir de Gaube, ont pu le conditionner et instaurer chez lui un sentiment de maîtrise du risque, qui l'a empêché de remettre en cause sa représentation de la situation.

Le sentiment de maîtrise du risque éprouvé par le pilote a pu le conduire à valider sa représentation du relief pourtant imprécise. Il a pu estimer qu'un décollage « rapide » et moins haut était réalisable sans que cela constitue une prise de risque excessive.

2.3.3.6. Gain de temps

Aucun motif opérationnel n'a été identifié pour expliquer un besoin de gagner du temps : le pilote n'a pas reçu d'appel d'urgence.

Plusieurs témoignages rapportent par ailleurs une volonté générale de réduire le temps de vol des missions programmées afin de rendre l'aéronef disponible le plus rapidement possible pour les éventuels appels d'urgence. Le pilote a pu suivre cette logique.

Il est possible que le pilote ait souhaité effectuer un décollage rapide dans le but d'un gain de temps.

2.3.3.7. Économie de ressources cognitives

Lors de cette mission, le pilote a effectué au total dix vols de courte durée. Ces vols ne répondaient pas à une mission d'urgence et ne présentaient pas de difficulté de pilotage particulière (météo dégagée et aérologie calme). Cette répétition de décollages / atterrissages a amené le pilote à ressentir une certaine « aisance ». Il a pu alors, par routine, accélérer la procédure de décollage. Réaliser un décollage rapide représente un coût cognitif moins important.

Il est probable que le pilote ait effectué un décollage rapide par économie de ressources cognitives.

2.3.3.8. Automatismes inadaptes

Le pilote a repassé une qualification sur Écureuil en avril en vue de sa prochaine mutation à La Réunion. Au cours de sa qualification, il a effectué différents types d'exercice en haute montagne dont les décollages en limite de puissance à faible hauteur.

Lors du troisième décollage, la masse de l'appareil est plus importante que lors des précédents. Bien que ce fût inadaptes, le pilote a pu adopter automatiquement une procédure de décollage typique des décollages en limite de puissance à faible hauteur tels qu'ils sont enseignés au centre de vol en montagne de Briançon.

Il est possible que le pilote ait effectué un décollage à faible hauteur par mise en œuvre d'un automatisme inadaptes dans un contexte d'abrègement des tâches.

2.3.3.9. Synthèse

Le choix du couloir est adapttes aux conditions et offre un gain de temps significatif au regard du nombre de rotations. La trajectoire à faible hauteur est due à une représentation imprécise du relief avant le décollage.

Conforttes par un sentiment de maîtrise de la situation, le pilote a réalisé un décollage « rapide » par routine et économie de ressources cognitives dans un contexte d'abrègement des tâches.

2.3.4. Absence d'action correctrice pour rétablir une trajectoire sûre

En s'engageant dans le couloir de Gaube, l'hélicoptère suit une trajectoire enroulant le Piton Carré situé sur la droite du pilote. Cette proximité avec la paroi augmente du fait de l'inclinaison de l'appareil à droite et aboutit au heurt des pales sur la roche. L'impact de la première pale intervient à 40 cm de son extrémité.

Le pilote avait le temps et la puissance requise pour corriger sa trajectoire, soit en s'éloignant de la paroi sur la gauche, soit en augmentant la hauteur de l'appareil.

Le heurt des pales avec la paroi démontre que la représentation du relief (ou de la position relative de l'aéronef par rapport à la paroi) qu'avait le pilote avant même de s'engager était erronée. Or, il aurait été possible que cette représentation s'ajuste pendant le vol si des indices visuels avaient pu être réactualisés.

Celui-ci aurait alors pu rectifier la trajectoire. L'absence d'action correctrice suggère que sa représentation de la situation n'a pas pu être ajustée et qu'elle est restée erronée jusqu'au heurt de pale.

L'absence d'action correctrice sur les commandes suggère que le pilote avait une représentation erronée du relief ou de la position relative de son aéronef par rapport à la paroi. Cette confusion de la représentation peut provenir de deux types de perturbations : des défauts d'attention et / ou des difficultés de perception.

2.3.4.1. Attention du pilote

La représentation de l'environnement en situation dynamique, comme lors d'un vol, varie en fonction des indices perçus (indices extérieurs visuels, informations émanant des interfaces ou encore informations reçues par d'autres acteurs du vol) et de l'interprétation de ces informations en fonction des buts poursuivis et de l'expérience détenue.

Le passage dans le couloir de Gaube, et en particulier dans sa partie la plus étroite, nécessite un haut niveau d'exigence attentionnelle. Dans ce type de décollage, les objectifs de sécurité sont de :

- vérifier que les paramètres techniques restent dans les normes prévues ;
- garantir une vitesse minimale de 50 à 60 kt ;
- maintenir la distance vis-à-vis des obstacles.

Ces objectifs impliquent la nécessité pour le pilote de se créer une image mentale précise des obstacles sur sa gauche et sur sa droite, et de l'évolution de ses indicateurs instrumentaux : le pilote doit porter successivement son attention sur plusieurs indicateurs de son tableau de bord, notamment les indicateurs de marge de puissance, de vitesse longitudinale et de vitesse verticale, tout en restant vigilant vis-à-vis des dangers de l'environnement extérieur.

Le champ visuel total théorique de l'homme est d'environ 180°. En réalité, son champ de vision binoculaire n'est que de 120°, et la zone réellement nette du champ visuel n'est que de 20° (10° de part et d'autre du nez), voire de 3 à 5° pour une acuité maximum. Ainsi, son attention ponctuelle ne peut être portée que sur un champ restreint. Un balayage visuel important est alors nécessaire pour que le pilote acquière une image mentale précise de tout son environnement. Lors de l'évènement le pilote avait moins de 8 s pour effectuer le balayage visuel de l'ensemble de son environnement et actualiser sa représentation de la situation au décollage.

Le champ visuel utile étant particulièrement réduit, la détection d'un obstacle en périphérie nécessite un balayage exhaustif de l'environnement.

Par ailleurs, lors de cet accident, plusieurs types de défaillances attentionnelles ont pu survenir.

- Focalisation de l'attention sur la paroi de gauche

Dans le couloir de Gaube, la paroi sur la gauche du pilote est particulièrement imposante visuellement : elle culmine à 243 m au-dessus de l'hélicoptère et sa paroi est fortement déneigée, ce qui la rend plutôt sombre. A l'opposé, le Piton Carré est nettement moins haut (point culminant à 39 m au-dessus de l'hélicoptère), encore enneigé et son aspect est donc plutôt blanc. De plus, les pilotes ont tendance à considérer que, dans le couloir de Gaube nettement incurvé vers l'est (vers la droite), le danger constitué par la paroi de gauche (Pique Longue) est plus important que le danger constitué par le Piton Carré situé à droite. Cela a pu être de nature à entraîner une focalisation attentionnelle du pilote sur la paroi de gauche au détriment de celle de droite.

Cette hypothèse va également dans le sens du choix de la trajectoire qui est plutôt axée vers la droite : l'hélicoptère ne passe pas au centre du couloir mais plutôt sur la droite. La trajectoire recherchée est d'enrouler le Piton Carré, afin de s'assurer de l'évitement de la paroi de gauche.

Il est probable que le pilote ait porté avant tout son attention sur la paroi de gauche au détriment de celle de droite.

- Attention portée sur la trajectoire future

Une fois que le pilote a orienté l'hélicoptère dans l'axe de décollage par lequel il estime s'être affranchi des obstacles latéraux, il est possible que son attention ait été portée sur la visualisation de la suite de la trajectoire, c'est-à-dire après l'enroulement du Piton Carré. Ce type de stratégie d'anticipation est en effet fréquent dans l'activité de pilotage. Or, si les ressources cognitives du pilote sont portées en avant de la trajectoire, la détection de la proximité de la saillie basse en périphérie visuelle devient alors difficile.

Le pilote a pu porter son attention sur la visualisation de la trajectoire future au-delà du Piton Carré.

- Distraction à l'intérieur de la cabine

L'attention du pilote au cours de son balayage visuel aurait pu être momentanément détournée par une distraction au sein de la cabine (discussion, chute d'objet ou autre). D'autres accidents similaires ont été rapportés sur ce type d'évènement²¹.

Cependant, plusieurs éléments tendent à infirmer cette hypothèse :

- l'équipage et les deux militaires du PGHM connaissent la criticité d'un décollage et l'importance de ne pas perturber le pilote avec des discussions ;
- l'hélicoptère est équipé d'un bac aluminium dans lequel le matériel de l'équipage est rangé et d'un système d'attache rapide pour le matériel des militaires du PGHM. Lors de la vidéo de la deuxième dépose, il est constaté que leur matériel est bien attaché ;
- le MBO ferme la porte juste avant la mise en translation, ce qui laisse à penser qu'il ne s'est rien passé jusque là.

L'hypothèse que l'attention du pilote ait pu être perturbée par une distraction à l'intérieur de l'hélicoptère est improbable.

- Hypoxie²²

L'appareil évolue vers 3 160 m lors de l'évènement. Avec l'altitude la quantité d'oxygène dans l'air diminue et le risque d'hypoxie augmente. Des seuils²³ ont été définis en fonction des réponses de l'organisme face à l'hypoxie :

²¹ Rapport *Analysis of 2000-2005 European helicopter accident de l'European helicopter safety team* (EHEST).

²² Inadéquation entre les besoins et les apports de l'organisme en oxygène.

²³ Extrait du livre de Henri Marotte « Physiologie aéronautique. Comportement de l'organisme humain dans l'environnement aéronautique et spatial », éditions SEES, 2004.

- de 0 à 1 500 m : aucune réaction physiologique d'origine hypoxique ;
- de 1 500 à 3 500 m : l'organisme compense l'hypoxie par des réactions cardiorespiratoires adaptées. Cependant, les réactions physiologiques nécessaires peuvent engendrer une certaine fatigue (deux fonctions ne sont pas compensées : la vision de nuit et la capacité d'apprentissage) ;
- de 3 500 à 5 500 m : risque d'hypoxie aiguë avec manifestations de troubles (dégradation du jugement, difficulté de concentration, parfois céphalées, état vertigineux et risque de somnolence) ;
- au-delà de 5 500 m : risque de syncope hypoxique.

Des incidents avec troubles hypoxiques au-dessous de 3 500 m ont pu être exceptionnellement constatés, et seulement en cas d'exposition prolongée, de l'ordre de 30 à 45 minutes. Le pilote a été exposé à une altitude d'environ 3 200 m durant quelques minutes seulement, ce qui représente un risque très faible de troubles hypoxiques.

L'état de vigilance du pilote ne semble pas avoir été réduit par un trouble hypoxique.

- Fatigue

La fatigue est un facteur important de réduction des ressources attentionnelles disponibles. Cependant le rapport médical, le planning d'activités, ainsi que les témoignages, tendent à rejeter cette hypothèse.

L'état de vigilance du pilote ne semble pas avoir été réduit par un état de fatigue.

2.3.4.2. Perception de l'environnement par le pilote

Parallèlement aux mécanismes attentionnels, des phénomènes perceptifs ont également pu jouer un rôle dans l'élaboration de la représentation par le pilote du relief du Piton Carré.

- Saillance de la partie heurtée

La perception des formes est élaborée à partir de nombreux indicateurs tels que des discontinuités de contrastes, de luminance²⁴, de couleur, d'orientations, ou encore de textures, entre le fond et la forme.

Dans le contexte de l'accident, le Piton Carré enneigé est plutôt blanc avec quelques parties grises (visualisé sur la vidéo de l'accident). Depuis la position du pilote, à 7 m de hauteur avec une assiette négative, la reconstitution 3D montre que le fond en arrière-plan de la saillie basse se superposait à la vallée montagneuse caractérisée par des couleurs également blanches et grises. L'analyse des indicateurs révèle un contraste très faible entre le fond représenté par la vallée montagneuse et la forme de la saillie basse du Piton Carré. Il est très difficile de voir une forme blanche sur un fond blanc.

²⁴ Sensation visuelle de luminosité d'une surface.



Illustration de l'effet du contraste sur l'acuité visuelle (la photo encadrée est celle produite par l'appareil le matin de l'évènement)

De plus, si la visière teintée du pilote protège des fortes luminosités, elle risque de diminuer la luminance de la saillie. Les caractéristiques visuelles de l'environnement montagneux au travers d'une visière teintée rendent difficiles la ségrégation entre la forme de la saillie basse du Piton carré et le fond constitué par la vallée montagneuse.

Par ailleurs, le vol en montagne est caractérisé par la réduction des repères d'horizon et de verticalité, ce qui aggrave dans ce cas les difficultés de perception des distances.

La perception de la forme de la saillie basse a été rendue difficile par le faible contraste entre le Piton Carré et l'arrière-plan montagneux.

- Perception des distances

La perception des distances ou de la profondeur est la capacité à percevoir l'environnement en trois dimensions.

La perception de la profondeur et du relief repose sur deux différents types d'indices visuels :

- ceux qui requièrent une vision binoculaire ;
- ceux perçus avec un seul œil.

Pour des distances supérieures à 30 m (la saillie basse du Piton Carré est distante de 48 m du point de décollage), l'efficacité des informations binoculaires est réduite. Les indices visuels utiles sont donc principalement monoculaires : l'interposition²⁵, la hauteur dans le champ visuel²⁶, la taille relative²⁷, la parallaxe de mouvement²⁸ et la perspective atmosphérique²⁹.

L'analyse de l'environnement montagneux du couloir de Gaube indique une absence d'objet interposé et peu d'indices de perspective.

Concernant la taille relative, la paroi de droite étant nettement plus petite que la paroi de gauche, le Pic du Vignemale à gauche peut sembler plus proche qu'il ne l'est et le Piton Carré à droite plus éloigné, ce qui est particulièrement défavorable.

²⁵ L'objet le plus éloigné est celui qui est caché par un autre objet.

²⁶ Un objet est d'autant plus éloigné qu'il est proche de l'horizon.

²⁷ Pour un objet de même taille, celui qui paraît le plus gros est le plus proche.

²⁸ En mouvement, l'objet perçu comme bougeant plus vite est interprété comme plus proche.

²⁹ Un objet paraît d'autant plus éloigné qu'il est flou et dans des tons bleutés/gris.

Enfin, le manque de référence horizontale, typique du vol en montagne, gêne l'évaluation de la hauteur dans le champ visuel, susceptible d'indiquer le positionnement réel de la saillie basse du Piton Carré.

L'estimation de la distance entre l'hélicoptère et la paroi est rendue difficile par un environnement pauvre en indices visuels.

- Masquage par un montant du cockpit

La reproduction dynamique du décollage en 3D révèle que le montant droit du cockpit séparant les plexiglas a, pendant quelques secondes, masqué la saillie basse du Piton Carré du champ visuel du pilote. Ce masquage, même momentané, a pu empêcher le pilote d'élaborer une représentation exacte du relief, surtout si le masquage intervient au moment où son regard se porte sur la droite. Rapporté à la durée du décollage jusqu'à l'impact (seulement 8 s), ce masquage a pu jouer un rôle significatif.



Captures d'écran de l'animation 3D³⁰ dans les dernières secondes

La saillie basse a été momentanément masquée par le montant droit du cockpit, ce qui a limité la capacité du pilote à corriger sa trajectoire.

- Estimation des distances entre la paroi et l'extrémité des pales

Plusieurs témoignages de pilotes d'EC145 rapportent des difficultés à percevoir en fonction de l'arrière-plan et de l'éclairage l'extrémité des pales du fait de la présence des déperditeurs plus saillants situés à environ 30 cm de l'extrémité des pales. Ce phénomène connu des pilotes les conduit à inhiber cette information immédiatement perceptible, afin de ne pas sous-estimer le diamètre réel du rotor.

De plus, du fait du positionnement arrière du rotor, le pilote ne perçoit qu'une partie de son disque. En effet, son champ de visualisation des couleurs est d'environ 60°. Lorsqu'il regarde

³⁰ Toutes les textures des parois pour l'animation ont été recouvertes de neige.

vers l'avant, il ne perçoit le disque que sur un faible secteur. Il doit alors anticiper son gabarit par rapport à la paroi.

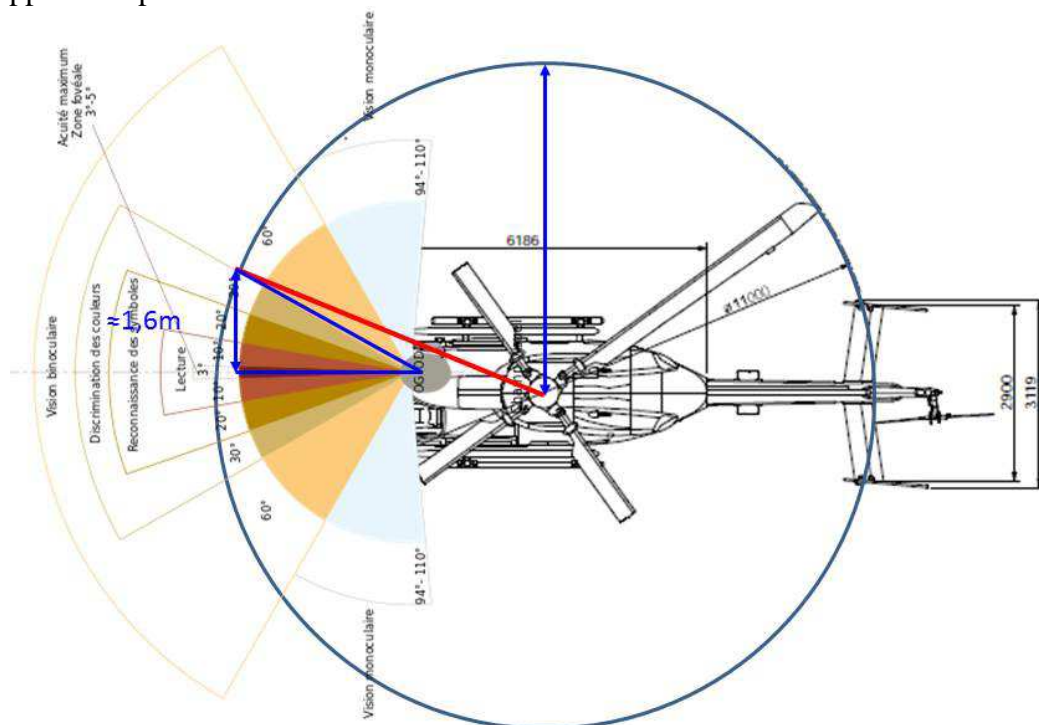


Illustration de la visualisation des pales

Ces deux éléments (déperditeurs et positionnement du rotor) rendent donc difficile l'estimation de la distance des pales en latéral. Il est possible que le pilote ait sous-estimé la distance entre la paroi et l'extrémité des pales.

L'estimation des distances entre la paroi et l'extrémité des pales est rendue difficile par la présence des déperditeurs et le positionnement arrière du rotor.

- Présence de neige sur le pare-brise

La vidéo du vol de l'accident ainsi qu'une photo de l'appareil prise par un militaire du PGHM montrent la présence de neige sur le pare-brise.



Photo du plexiglas lors de la troisième rotation

Cette neige s'est déposée lors de l'atterrissage. Il n'y a pas eu d'action sur l'essuie-glace. Il est difficile de mesurer l'effet de cette neige sur la perception visuelle de l'environnement extérieur. Le dépôt n'est pas épais mais il couvre une grande partie du champ visuel du pilote.

La présence de neige sur le pare-brise a pu rendre difficile la perception du relief.

2.3.4.3. Synthèse

L'absence d'action corrective suggère que le pilote a une représentation erronée de la situation.

Elle relève d'une combinaison de défaillances attentionnelles (focalisation de l'attention sur la paroi de gauche, attention portée sur la trajectoire future) et de difficultés perceptives (faible visibilité de la saillie basse du Piton Carré, perception approximative des distances et du diamètre rotor, masquage par un montant du cockpit, neige sur le pare-brise) dans un contexte de vol exigeant où la faible hauteur et la rapidité de manœuvre laissent peu de temps disponible pour corriger la trajectoire.

PAS DE TEXTE

3. CONCLUSION

L'évènement est un heurt de paroi au décollage dans un environnement de haute montagne.

3.1. Eléments établis utiles à la compréhension de l'évènement

Le 20 mai 2016, une mission est réalisée dans le massif du Vignemale au profit du PGHM de Pierrefitte-Nestalas. La mission consiste en une mise en place de cinq militaires du PGHM au niveau de la Brèche de Gaube, puis en leur récupération à l'issue de leur entraînement.

L'équipage de l'EC145 est constitué d'un pilote en place droite et d'un MBO dans le cargo.

Lors de la récupération à 12h05, après avoir embarqué deux militaires ainsi que du matériel, l'appareil décolle à 3 150 m, s'élève à environ 7 m tout en pivotant de 90° sur sa droite et s'engage dans le couloir de Gaube en initiant un virage à droite. Les pales du rotor principal heurtent le relief à droite et se rompent. Devenu incontrôlable, l'hélicoptère effectue une rotation par la droite et percute la paroi. L'appareil s'immobilise en bas du couloir à une altitude d'environ 2 550 m.

L'ensemble des constats effectués lors des expertises et de l'exploitation des données enregistrées montre que :

- les évolutions de l'appareil sont pilotées en permanence ;
- il n'y a aucune défaillance mécanique, ni au niveau de la motorisation, ni au niveau des chaînes de transmission de puissance ;
- il n'y a aucune anomalie sur la chaîne des commandes de vol ;
- aucun phénomène météorologique défavorable n'est identifié.

3.2. Causes de l'évènement

Les causes de cet accident sont :

- la représentation imprécise du relief avant le décollage qui conduit le pilote à réaliser un décollage à faible hauteur dans le couloir de Gaube ;
- le sentiment de maîtrise de la situation par le pilote lié à l'expérience et l'expertise de la haute montagne ;
- la répétition des rotations qui aboutit à l'installation de routines qui conduisent le pilote à réaliser un décollage rapide ;
- une combinaison de défauts d'attention (focalisation de l'attention sur la paroi de gauche, attention portée sur la trajectoire future) et de difficultés de perception (faible visibilité de la saillie basse du Piton Carré, perception approximative des distances et du diamètre rotor, masquage par un montant du cockpit, neige sur le pare-brise) qui limite la capacité du pilote à mener une action corrective.

PAS DE TEXTE

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement

4.1.1. Sensibilisation des équipages

Le risque d'une collision avec un obstacle dans la zone d'envol est un risque identifié, et pris en compte dans la formation des équipages. Bien qu'étant dans un contexte de vol familier, le pilote expérimenté n'a pas identifié de trajectoire conflictuelle, car sa représentation de la situation était erronée.

De plus, un phénomène de routine a pu conduire le pilote à sous-estimer les dangers liés à son décollage.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

à la gendarmerie nationale et à la direction générale de la sécurité civile et de la gestion de crise (DGSCGC), en s'appuyant sur le cas de cet évènement, de rappeler aux équipages, même dotés d'une solide expérience, la nécessité de prendre le temps d'analyser les obstacles dans la zone d'envol, y compris dans une zone connue.

R1 – [G-2016-008-A]

4.1.2. Dispositif d'avertissement de présence d'obstacles

Des systèmes embarqués du type *rotor strike avoidance system* sont en développement³¹ afin de permettre, à faible vitesse, la détection d'obstacles à proximité du rotor. Ces obstacles représentent un danger permanent pour les équipages. Or, aujourd'hui la détection repose uniquement sur l'équipage.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

à la gendarmerie nationale et à la DGSCGC en relation avec la DGA d'étudier l'emploi de systèmes embarqués de détection d'obstacles sur leur flotte d'hélicoptères.

R2 – [G-2016-008-A]

4.1.3. Visualisation des extrémités de pales du disque rotor principal

De façon générale, et plus encore lorsqu'ils sont confrontés à certaines conditions d'éclairages et d'arrière-plan, les équipages éprouvent des difficultés à visualiser correctement l'extrémité du disque rotor de l'appareil à proximité des obstacles. Le CFAGN a effectué des expérimentations prometteuses pour améliorer cette visualisation.

³¹ Dispositif de détection en extrémité de pale issu du partenariat entre le CNRS, Ferma engineering et Airbus Helicopters dans le cadre du programme Asteqh, ou les radars de proximité de Rockwell & Collins.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

à la gendarmerie nationale en relation avec Airbus Helicopters et la DGA de poursuivre ses recherches pour améliorer la visualisation des extrémités de pales du disque rotor principal.

R3 – [G-2016-008-A]

4.1.4. Essuie-glace

Le pilote n'a pas utilisé l'essuie-glace. La présence de neige sur le plexiglas, déposée lors de l'atterrissage, a pu perturber le balayage visuel du pilote alors qu'il était à proximité du relief. Il n'y a pas de préconisation quant à son utilisation si ce n'est une restriction d'emploi lorsque le plexiglas est "sec ou glacé".

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

à la gendarmerie nationale de rappeler que l'emploi de l'essuie-glace est nécessaire dès qu'il existe un dépôt de neige fraîche, notamment dans les phases à proximité d'obstacles.

R4 – [G-2016-008-A]

4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'évènement

4.2.1. Adaptation des appareils

L'EC145 n°9014 présentait un écart par rapport au certificat d'examen de navigabilité (absence d'acte technique relatif à l'emport d'un coffre de rangement de matériels). L'appareil a été contrôlé en 2013 ; le prochain contrôle était programmé en novembre 2016. Il n'y a pas eu de contrôle annuel du fait de la mise en place progressive de la navigabilité. La présence à bord de ce coffre est sans incidence sur l'évènement.

Toutefois, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

à la gendarmerie nationale de définir les besoins des unités « montagne » afin de faire évoluer l'EC145 vers une version adaptée, en relation avec la DGA et dans le respect de la navigabilité.

R5 – [G-2016-008-A]

4.2.2. Carburant

L'enquête a révélé que les unités des FAG, implantées en secteur civil, étaient alimentées en F-35. Ces unités n'utilisent pas d'additif anti-glace tant que la température reste supérieure à -35°C (dans le domaine de compatibilité du carburant). Le manuel de vol recommande d'utiliser l'additif dès que la température descend en-dessous de -10°C, car en cas de présence d'une pollution, notamment par l'eau, des cristaux pourraient se former et obstruer le circuit carburant.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

à la gendarmerie nationale de préconiser l'emploi d'additif anti-glace dans les unités alimentées en F-35 à partir de -10°C.

R6 – [G-2016-008-A]

4.2.3. Enregistreur de vol

La trajectoire de l'aéronef a pu être reconstituée grâce aux données enregistrées par l'UMS. L'enquête a bénéficié des moyens considérables engagés par la gendarmerie ainsi que d'un concours de circonstances exceptionnel en récupérant dans un milieu périlleux, intact, le support informatique qui n'est pas conçu pour résister aux chocs.

Cet enregistreur de maintenance n'assure ni l'enregistrement des voix ni l'enregistrement vidéo du cockpit dont l'étude aurait permis de lever des incertitudes concernant la gestion du vol dans les dernières secondes. Il existe des enregistreurs de vol qui peuvent s'interfacer avec cet enregistreur de maintenance.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

à la gendarmerie nationale d'équiper ses EC145 et EC135 d'enregistreurs de vol (vidéo, voix et paramètres).

R7 – [G-2016-008-A]

4.2.4. Balise de détresse

Les balises de détresse des EC145 sont des balises monodirectionnelles ne se déclenchant pas lorsqu'elles sont soumises à des chocs latéraux ou frontaux.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

à la gendarmerie nationale et la DGSCGC, en liaison avec le constructeur et la DGA, d'équiper les hélicoptères de balises de détresse tridirectionnelles.

R8 – [G-2016-008-A]

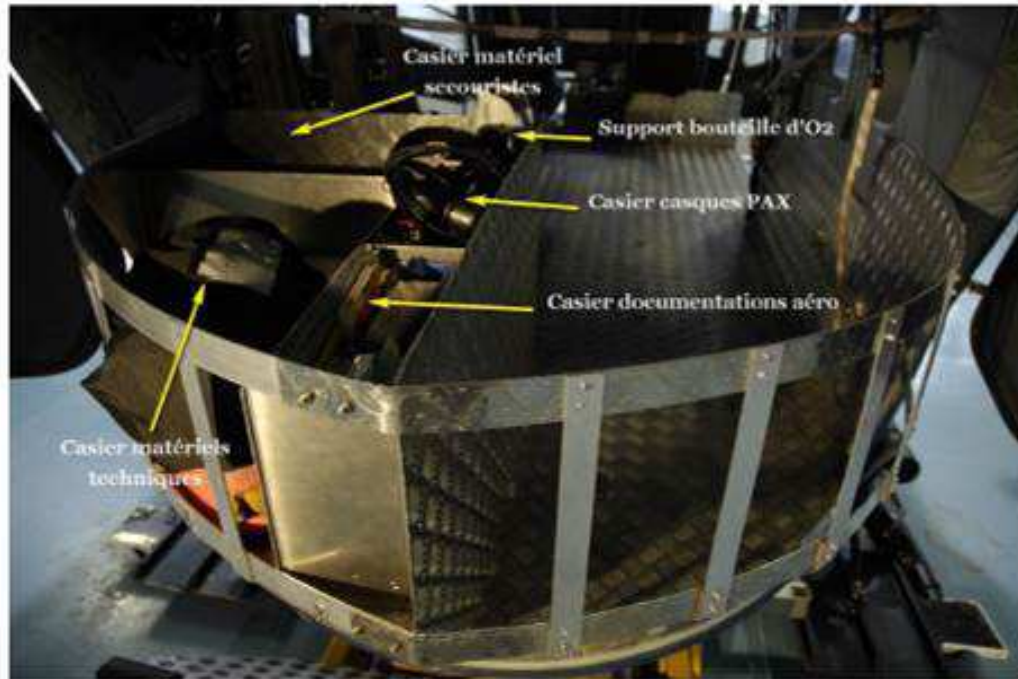
ANNEXES

ANNEXE 1	Fiche modification du « bac aluminium ».....	57
ANNEXE 2	Liste des paramètres enregistrés par l'UMS SSQAR	59
ANNEXE 3	Essuie-glace – Positionnement au moment de l'accident	60
ANNEXE 4	Récapitulatif des dommages visualisés sur les pales	61
ANNEXE 5	Comparaison analyse spectrale avec le paramètre N1	62

ANNEXE 1

Fiche modification du « bac aluminium ».

Cette fiche n'est constituée que des 3 photos ci-dessous.





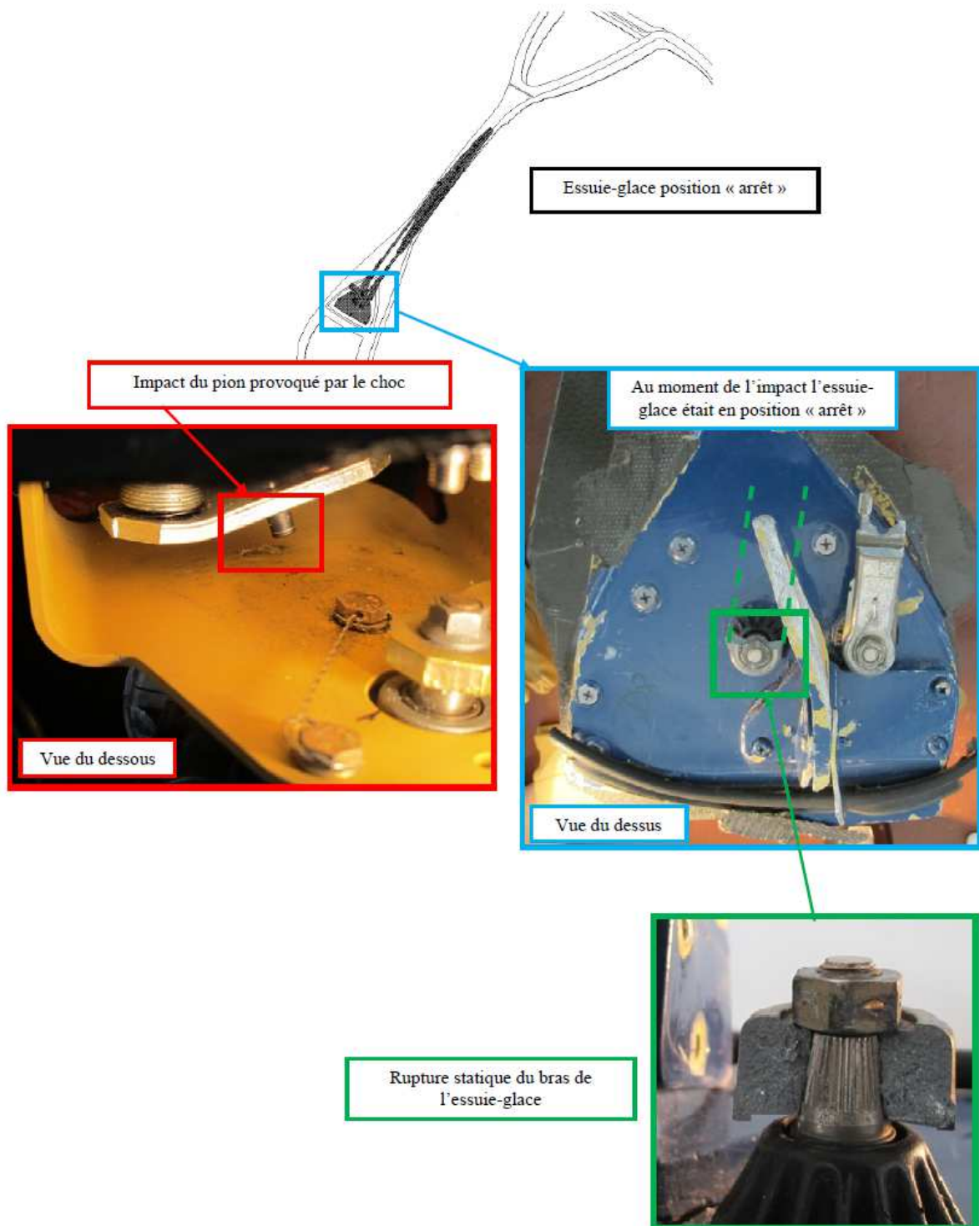
ANNEXE 2

Liste des paramètres enregistrés par l'UMS SSQAR

ADV AP TEST OK	CAUTION ENG 2 CHIP	CAUTION FUEL FILT 1	CAUTION SAND FILT	ENG MODE N1	PPPOS_LAT
ADV AUX F XFER	CAUTION ENG CHP CT1	CAUTION FUEL FILT 2	CAUTION SHED EMERG	EOP1	PPPOS_LON
ADV ECS	CAUTION ENG CHP CT2	CAUTION FUEL PRESS 1	CAUTION SPARE 1	EOP2	RADIO HEIGHT
ADV HEATING	CAUTION ENG O FILT 1	CAUTION FUEL PRESS 2	CAUTION SPARE 2	EVENT MARKER	ROLL ALARM
ADV HOOK UNLD	CAUTION ENG O FILT 2	CAUTION FUEL VALVE 1	CAUTION SPARE 3	FDR FAIL	ROLL ATT
ADV IFCO	CAUTION ENG OF CT1	CAUTION FUEL VALVE 2	CAUTION SPAS	FF1	TAIL PEDAL
ADV LDG L RETR	CAUTION ENG OF CT2	CAUTION FUEL VALVE CL 1	CAUTION STARTER 1	FF2	TAIL PEDAL OVR
ADV LDG LIGHT	CAUTION ENG OIL P 1	CAUTION FUEL VALVE CL 2	CAUTION STARTER 2	FLI 1 MODE	TAIL YAW ANGL
ADV SAND FILT	CAUTION ENG OIL P 2	CAUTION GEN DISCON 1	CAUTION TO MISCP	FLI 1 TYP	TFF
ADV WINCH	CAUTION ENG P DIS 1	CAUTION GEN DISCON 2	CAUTION TR CHIP	FLI 1 VALUE	TFQ
CARGO HOOK SENSOR	CAUTION ENG P DIS2	CAUTION GEN OVHT 1	CAUTION TR CHIP CT	FLI 2 MODE	TIME HOURS
CAUTION ACTUATOR	CAUTION ENG PA DIS 1	CAUTION GEN OVHT 2	CAUTION TRAINING 1	FLI 2 TYP	TIME MIN
CAUTION AHRS DISC	CAUTION ENG PA DIS 2	CAUTION HOR BAT	CAUTION TRAINING 2	FLI 2 VALUE	TIME SEC
CAUTION AP1	CAUTION ENG SPLIT 1	CAUTION HTG OVTEMP	CAUTION TRIM	GROUND/FLIGHT	TOT1
CAUTION AP2	CAUTION ENG SPLIT 2	CAUTION HYD PRESS 1	CAUTION TWIST GRIP 1	HEADING	TOT2
CAUTION AUX F XFR	CAUTION EPU DOOR	CAUTION HYD PRESS 2	CAUTION TWIST GRIP 2	HYDP1	TRQ1
CAUTION AVION OVHT	CAUTION EXT POWER	CAUTION ICE D FAIL	CAUTION VAR NR	HYDP2	TRQ2
CAUTION BACKUP SAS	CAUTION F FILT CT1	CAUTION ICE DETECT	CAUTION VEMD FAN	IAS	VZ
CAUTION BAT DISCON	CAUTION F FILT CT2	CAUTION INVERTER 1	CAUTION XMNS CHIP	LATT ANGL	WIND SPEED
CAUTION BAT DISH	CAUTION F PUMP AFT	CAUTION INVERTER 2	CAUTION XMNS CHP CT	LATT PITCH	WU AP
CAUTION BCUADEGR	CAUTION F PUMP FWD	CAUTION MM_EXCEED	CAUTION XMNS OIL T	LATT PITCH OVR	WU BAT TEMP
CAUTION BLEED AIR	CAUTION F PUMP JET	CAUTION MM0 TEST FAIL	CAUTION XMNS OT CT	LONG ANGL	WU CARGO SMOKE
CAUTION BUS TIE OPEN 1	CAUTION F QTY DEGR	CAUTION MSG	CAUTION YAW SAS	LONG PITCH	WU ENG FAIL1
CAUTION BUS TIE OPEN 2	CAUTION F QTY FAIL	CAUTION NMS 1	COLL ANGL	LONG PITCH OVR	WU ENG FAIL2
CAUTION CABLE CUT	CAUTION FIRE E TEST 1	CAUTION NMS 2	COLL STICK	MMO	WU FIRE1
CAUTION CAD FAN	CAUTION FIRE E TEST 2	CAUTION OVSP FAIL 1	COLL STICK OVR	N11	WU FIRE2
CAUTION CADD25LSMG	CAUTION FIRE EXT 1	CAUTION OVSP FAIL 2	CVR FAIL	N12	WU LOW FUEL1
CAUTION CALL PAX	CAUTION FIRE EXT 2	CAUTION PO MISC	DATE DAY	NR	WU LOW FUEL2
CAUTION CAU DEGR	CAUTION FLI DEGR 1	CAUTION PITOT HTR CP	DATE MONTH	NZ	WU ROTOR RPM HIGH
CAUTION CPDS OVHT	CAUTION FLI DEGR 2	CAUTION PITOT HTR P	DATE YEAR	OAT	WU ROTOR RPM LOW
CAUTION DDDRS	CAUTION FLI FAIL 1	CAUTION PRIME PUMP 1	DN11	P0	WU XMNS
CAUTION ECS	CAUTION FLI FAIL 2	CAUTION PRIME PUMP 2	DN12	PITCH ALARM	XMSNOP1
CAUTION ENG 1 CHIP	CAUTION FLOAT ARM	CAUTION ROTOR BREAK	ENG MODE CAT A	PITCH ATT	XMSNOP2
					YAW ALARM
					ZP

ANNEXE 3

Essuie-glace – Positionnement au moment de l'accident



ANNEXE 4

Récapitulatif des dommages visualisés sur les pales

	Pale jaune	Pale verte	Pale bleue	Pale rouge
Longueur	4m40.	4m30.	4m50.	3m20.
Revêtement	Disparu.	Pied de pale intrados et extradados.	Disparu.	10 cm pied de pale.
Bande anti-érosion	Disparu.	Disparu.	Disparu.	Disparu.
Revêtement fibres C	Disparu.	Pied de pale intrados et extradados.	Disparu.	Disparu.
Mousse	Disparu.	Disparu.	Disparu.	Disparu.
Masselottes équilibrage	Trace de leur emplacement.	Trace de leur emplacement.	Trace de leur emplacement.	Trace de leur emplacement.
Fibres de verre	Longitudinales.	Longitudinales + pied de pale.	Longitudinales.	Longitudinales + 10 cm pied de pale.
Manchon	1/3.	Disparu.	Présent. Intrados et extradados : manque un petit morceau.	Présent.
Masses	<u>Extradados</u> : frottements sur support ; 3 vis sur 4 endommagées. <u>Intradados</u> : support rompu.	<u>Extradados</u> : frottements sur support ; 1 vis arrachée ; support tordu à droite (en regardant vers rotor) ; masse à droite ne tourne plus.	RAS.	RAS.
Remarques	Fibres de verre compactées (pas en chou-fleur)	Rupture franche des fibres de verre à 90 cm du centre du gros axe de fixation. Fibres de verre pliées au niveau du manchon.	Rupture franche des fibres de verre à 60 cm du centre du gros axe de fixation.	La plus courte. Rupture franche des fibres de verre à 1m90 du centre du gros axe de fixation. Compression du bout de la pale vers le rotor (chou-fleur).

ANNEXE 5

Comparaison analyse spectrale avec le paramètre N1

