



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT D'ENQUÊTE DE SÉCURITÉ



BEAD-air-C-2012-012-A

Date de l'événement	25 juillet 2012
Lieu	La Palud sur Verdon (Gorges du Verdon)
Type d'appareil	AS 532 AL
Immatriculation	F-ZWDL
Organisme	Eurocopter-France
Unité	Département production

AVERTISSEMENT

COMPOSITION DU RAPPORT

Les faits, utiles à la compréhension de l'événement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'analyse des causes possibles de l'événement fait l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes certaines ou possibles. Enfin, dans le dernier chapitre, des propositions en matière de prévention sont présentées.

Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heures locales.

UTILISATION DU RAPPORT

L'objectif du rapport d'enquête de sécurité est d'identifier les causes de l'événement et de formuler des recommandations de sécurité. En conséquence, l'utilisation de la deuxième partie de ce rapport et des suivantes à d'autres fins que celle de la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page de garde : société Eurocopter

Photos :

- Page 25 : auteur anonyme
- Pages 26, 27, 28, 34 et 35 : avec l'autorisation de l'auteur
- Page 17 : section de recherche de la gendarmerie des transports aériens (SR-GTA)
- Pages 30, 35 : société Eurocopter

Illustrations :

- Page 7 : extrait de carte au 1/ 500 000 du service de l'information de l'aéronautique (SIA)
- Pages 14 et 16 : extrait de carte au 1 / 25 000 de l'IGN, série TOP 25
- Pages 15, 18, de 29 à 33, de 52 à 55 : DGA - TA
- Pages 37 et 38 : DGA - EP

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	2
CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS	2
TABLE DES MATIERES	3
GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS	5
1. Renseignements de base	6
1.1. Déroulement du vol	6
1.2. Tués et blessés	8
1.3. Dommages à l'aéronef	8
1.4. Autres dommages	9
1.5. Renseignements sur le personnel	9
1.6. Renseignements sur l'aéronef	11
1.7. Conditions météorologiques	13
1.8. Aides à la navigation	13
1.9. Télécommunications	13
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	13
1.11. Enregistreurs de bord	14
1.12. Renseignements sur l'épave et sur l'impact	14
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	19
1.14. Incendie	20
1.15. Questions relatives à la survie des occupants	20
1.16. Essais et recherches	21
1.17. Renseignements sur les organismes	22
1.18. Renseignements supplémentaires	22
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	23
2. Analyse	24
2.1. Résultats des expertises et des témoignages	24
2.2. Recherche des causes	39
3. Conclusion	46
3.1. Eléments établis utiles à la compréhension de l'événement	46
3.2. Causes de l'événement	46
4. Recommandations de sécurité	47
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	47
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	49
ANNEXES	50
ANNEXE 1 RECONSTITUTION DE LA PALE BLANCHE DU RAC	51
ANNEXE 2 RECONSTITUTION DE LA PALE ROUGE DU RAC	52
ANNEXE 3 RECONSTITUTION DE LA PALE NOIRE DU RAC	53
ANNEXE 4 DECHIRURE DE LA PLATINE ASSOUPLEE	54

GLOSSAIRE

BTA :	boîte de transmission arrière
BTP :	boîte de transmission principale
CAG :	circulation aérienne générale
CAVOK :	<i>ceiling and visibility OK</i> (visibilité supérieure ou égale à 10 km, et aucun nuage en-dessous de 1500 m ou en dessous de l'altitude minimale de secteur la plus élevée si celle-ci est supérieure à 1550 m, pas de cumulonimbus, pas de précipitation, ni d'orages, ni de brouillard mince, ni de chasse neige basse).
CdB :	commandant de bord
CEMPN :	centre d'expertise médicale du personnel navigant.
CER :	circulation d'essais et réception
DGA-EP :	direction générale de l'armement – Essais propulseurs
DGA-TA :	direction générale de l'armement – Techniques aéronautiques
EAP :	entrée d'air polyvalente
ENE :	expérimentateur navigant d'essais
EPNER :	école du personnel navigant d'essai et réception
GTM :	groupe turbo-moteur
ILS :	<i>instrument landing system</i> (système d'atterrissage aux instruments)
PG :	pas général
RAC:	rotor anti-couple
SAG :	section aérienne de gendarmerie
SDIS :	service départemental d'incendie et de secours
TACAN :	<i>tactical air navigation</i> (système de navigation aérienne tactique)
VFR:	<i>visual flight rules</i> (règles de vol à vue)
VHF:	<i>very high frequency</i> (très haute fréquence)
VIP :	<i>very important person</i> (personnalité)
VOR :	<i>VHF omnidirectional range</i> (variophare omnidirectionnel VHF)

SYNOPSIS

Date et heure de l'événement : 25 juillet 2012, 13h38

Lieu de l'événement : La Palud sur Verdon (Alpes-de-Haute-Provence)

Organisme : Eurocopter-France

Service : département production

Aéronef : AS 532 AL Cougar

Nature du vol : vol de contrôle avant convoyage (catégorie R2 selon la classification Eurocopter)

Nombre de personnes à bord : 6

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Au cours d'un vol de contrôle, alors qu'il évolue dans les gorges du Verdon en direction du sud-est, un hélicoptère heurte un câble électrique à une hauteur estimée de 120 m entre l'hôtel « Les cavaliers » et le chalet de la Maline. L'appareil s'écrase au fond des gorges et prend feu. Les six occupants sont tués dans l'accident et l'appareil est détruit.

Composition du groupe d'enquête de sécurité

- Un directeur d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air).
- Un pilote d'essai ayant une expertise sur Cougar.
- Un ingénieur navigant d'essai ayant une expertise sur Cougar.
- Un médecin du personnel navigant.

Autres experts consultés

- DGA-Techniques aéronautiques (DGA-TA).
- DGA-Essais propulseurs (DGA-EP).
- Eurocopter.
- Turboméca.
- Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA).

Déclenchement de l'enquête de sécurité

Le BEAD-air est prévenu d'un accident d'hélicoptère dans les gorges du Verdon le 25 juillet vers 14h30. Il faudra plusieurs heures pour identifier l'appareil et la composition de l'équipage.

Après concertation avec le bureau enquêtes et analyses pour l'aviation civile (BEA), il est décidé que les investigations seront conduites par le BEAD-air.

L'équipe d'enquête se rend à Marignane le 26 juillet et mène ses investigations sur les différents sites jusqu'au 1^{er} août.

Enquête judiciaire

Une information judiciaire est ouverte près le tribunal de grande instance d'Aix-en-Provence. L'enquête a été confiée à la section de recherche de la gendarmerie des transports aériens.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Indicatif mission : Cougar Foxtrot

Type de vol : circulation aérienne générale (CAG)

Type de mission : vol de contrôle avant convoyage

Dernier point de départ : aéroport de Marseille-Provence

Heure de départ : 13h07

Point d'atterrissage prévu : aéroport de Marseille-Provence

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

L'hélicoptère appartient à l'armée albanaise. Il s'agit d'un appareil équipé pour transporter les personnalités mis à la disposition d'Eurocopter dans le cadre de la formation des équipages albanais. Il doit être convoyé vers l'Albanie, le 26 juillet 2012. Un vol de contrôle est prévu le 25 juillet suite au reconditionnement « VIP » et à une opération de maintenance.

Ce vol de contrôle a pour objectif de vérifier :

- le bon fonctionnement général de l'appareil, des équipements « VIP » (dont un téléphone SATCOM) ainsi que des moyens d'identification et de radionavigation ;
- le comportement vibratoire de l'habillage « VIP ».

Le vol est planifié le 24 juillet. Il est inscrit dans le logiciel de planification de l'activité de la société Eurocopter appelé « FOCUS », acronyme de « *Flight Coordination System* ».

Le 25 juillet, un point fixe est effectué à 9h00. Dans le cadre de la préparation au vol, l'équipage prend connaissance de l'état de l'appareil et signe le cahier des travaux (CT 113) et des différés.

Pour réaliser les différentes vérifications, l'équipage utilise les fiches de vols propres aux domaines techniques concernés. Elles sont utilisées pour la préparation du vol, comme support pendant le vol et constituent le compte rendu à l'issue du vol. Ces documents se trouvent à bord de l'appareil pendant le vol. Il n'a pas été fait de duplicata de ces fiches.

Le décollage du vol intitulé « convoyage » en zone « Alpilles » est programmé à 12h30.

La conduite du vol est assurée par un pilote d'essais hélicoptères et le suivi de l'appareil par un expérimentateur navigant d'essais.

Un second expérimentateur navigant d'essais, spécialiste systèmes est chargé de contrôler le fonctionnement du SATCOM.

Trois mécaniciens prennent place à bord de l'appareil en qualité d'observateurs. Ils sont chargés du contrôle des habillages du compartiment passager, du kit « VIP » (sièges et accessoires) et du téléphone de bord.

1.1.2.2. Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'événement

A la mise en route, l'équipage rend compte par radio au bureau des opérations de son départ en mission en précisant le type d'appareil, son numéro de série, la composition de l'équipage, la zone de travail et l'heure de départ.

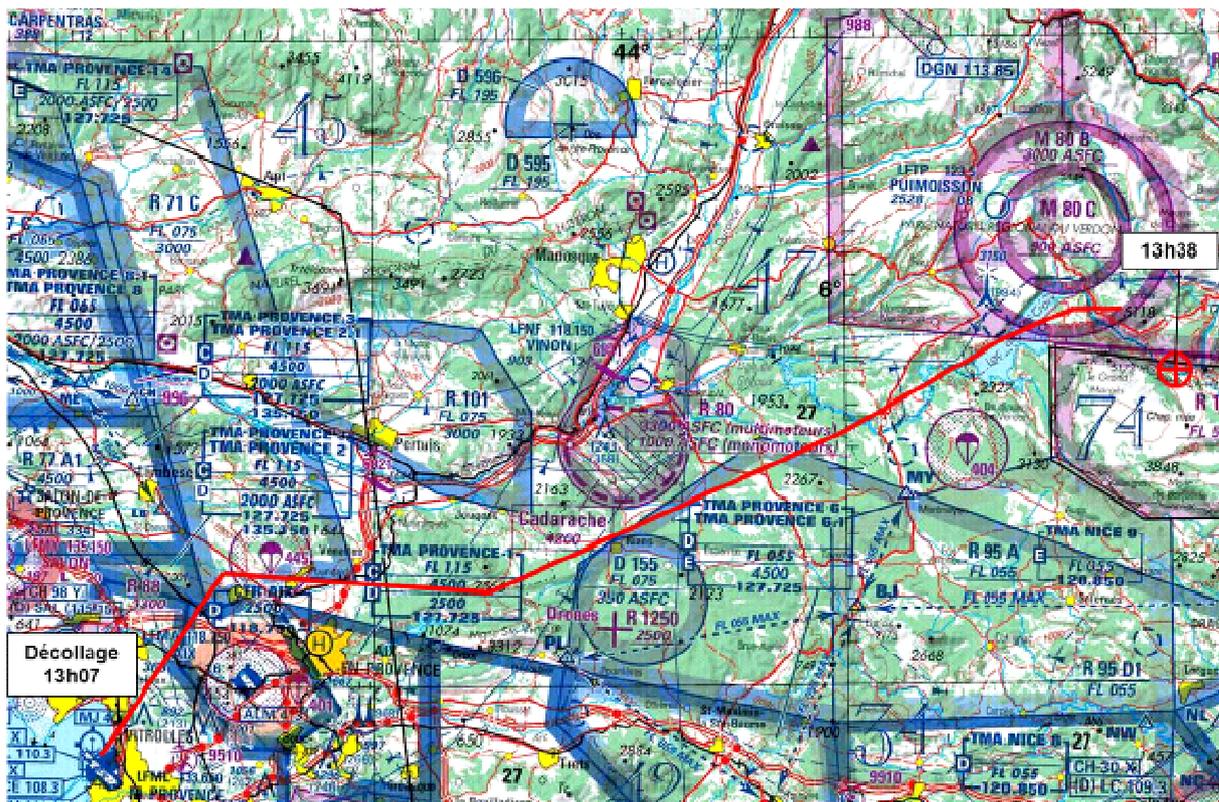
Ce compte-rendu est consigné sur le registre des opérations aériennes. Dans le cas présent, la zone de travail indiquée est « nord ».

Après la mise en route, l'équipage contacte le contrôle de l'aéroport de Marseille sur la fréquence sol et lui demande : « ... pour rejoindre Delta 7, un décollage 31, une sortie par Hôtel Novembre, Novembre pour un vol d'une heure dans le nord ».

Pour le contrôle de Marseille, ce message tient lieu de plan de vol réduit pour un vol à vue effectué selon les règles de la circulation aérienne générale (VFR-CAG).

L'appareil décolle à 13h07 de Marseille-Provence et sort de la zone par les points NB, NA et N. Il prend un cap vers le nord de la montagne Sainte-Victoire puis une route est-nord-est en direction du lac de Sainte Croix à la vitesse de croisière.

Au cours des deux dernières minutes du vol enregistré par le radar, la vitesse est réduite à 80 nœuds. Le dernier écho radar est enregistré à 13h32. L'appareil est retrouvé dans le sud-est à 6,2 km de cette position. L'accident est observé par des témoins qui donnent l'alerte à 13h39.



Trajectoire suivie par l'appareil

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

L'appareil heurte un câble électrique traversant les gorges du Verdon entre le chalet de la Maline et l'hôtel des Cavaliers à une hauteur d'environ 120 m par rapport au fond des gorges. Il s'écrase et prend feu à 350 m au sud-est du câble sur la rive droite du Verdon.

1.1.3. Localisation

- Lieu :
 - pays : France
 - département : Alpes-de-Haute-Provence (04)
 - commune : La Palud-sur-Verdon
 - coordonnées géographiques :
 - N 43° 44' 24''
 - E 006° 20' 49''
 - altitude de la position de l'épave (lit de la rivière) : 545 m
- Moment : jour, soleil proche de son apogée
- Aérodrome le plus proche au moment de l'événement : Puimoisson à 11 Nm dans le 315 du lieu de l'accident

1.2. Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles	6		
Graves			
Légères			1*
Aucune			

* Un témoin blessé léger.

1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
AS 532 n° 2 800		X		

1.4. Autres dommages

Sans être rompu, le câble électrique a été endommagé sur une longueur de 9,2 m. Une coupure de distribution électrique a été constatée.

L'incendie consécutif à l'accident s'est propagé à la végétation et a été contenu aux abords du site.

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1. Commandant de bord

- Age : 56 ans
- Unité d'affectation : Eurocopter – essais en vol production
 - fonction dans l'unité : pilote d'essais assurant en l'absence du titulaire la fonction de responsable des pilotes d'essais au moment de l'événement
- Formation :
 - qualification : pilote d'essais expérimental hélicoptères
 - école de spécialisation : école du personnel navigant d'essais et réception (EPNER)
 - année de sortie d'école : 1991
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tous types	dont sur AS 532	sur tous types	dont sur AS 532	sur tous types	dont sur AS 532
Total	9 983h35	1 602h30	293h20	76h45	37h35	7h00

- Date du dernier vol comme pilote :
 - sur l'aéronef : 24 juillet 2012
 - sur tous types : 24 juillet 2012
- Carte de circulation aérienne :
 - type : licence PEXH n°118
 - date d'expiration : 31 décembre 2012
- Validité qualification de type AS332/EC225 SP : 31 juillet 2012

1.5.1.2. Expérimentateur navigant d'essais 1

- Age : 54 ans
- Unité d'affectation : Eurocopter – essais en vol production
 - fonction dans l'unité : Expérimentateur navigant d'essais (ENE)
- Formation :
 - qualification : ENE hélicoptères
 - école de spécialisation : EPNER
 - année de sortie d'école : 2002
- Heures de vol comme ENE :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tous types	dont sur AS 532	sur tous types	dont sur AS 532	sur tous types	dont sur AS 532
Total	9 511h30	>1 500 h	81h45	45h50	35h35	17h50

- Date du dernier vol comme ENE :
 - sur l'aéronef : 23 juillet 2012
 - sur tous types : 24 juillet 2012
- Carte de circulation aérienne :
 - type : licence ENE n°B-029
 - date d'expiration : 30 juin 2013

1.5.1.3. Expérimentateur navigant d'essais 2

- Age : 48 ans
- Unité d'affectation : Eurocopter – essais en vol production
 - fonction dans l'unité : ENE
- Formation :
 - qualification : ENE hélicoptères
 - école de spécialisation : EPNER
 - année de sortie d'école : 1988
- Heures de vol comme ENE :

	Total	Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tous types	sur tous types	dont sur AS 532	sur tous types	dont sur AS 532
Total	1 968h00	104h25	43h10	22h55	5h30

- Date du dernier vol comme ENE :
 - sur l'aéronef : 16 juillet 2012
 - sur tous types : 23 juillet 2012
- Carte de circulation aérienne :
 - type : licence ENE n° 493
 - date d'expiration : 30 septembre 2012

1.5.2. Autres personnels

Trois mécaniciens assuraient la fonction d'observateur de bord :

- deux « points-fixeurs » âgés de 57 et 51 ans ;
- un mécanicien de piste âgé de 32 ans.

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : l'appareil appartient à l'armée albanaise (vol d'acceptation réalisé le 14 mai 2012) et mis à la disposition d'Eurocopter pour la formation des pilotes albanais. Il est exploité avec l'indicatif F-ZWDL correspondant à l'autorisation de vol n° 0130-12 DT/DGA IP/ASA/AHE du 7 février 2012 valide pendant un an.
- Type d'aéronef : AS 532 AL.
- Configuration « VIP » 10 places avec les particularités suivantes :
 - Entrées d'air polyvalentes
 - Conditionnement d'air monté en pod
 - Coupe câble supérieur
 - Flottabilité de secours
 - Portes cabine coulissantes
 - IFF mode 4 / TACAN¹ / VOR² ILS³ / radio altimètre
 - SATCOM
 - Radar météo
 - Traffic Avoidance System (TAS)
 - *flight management system (FMS* - système de gestion de vol) CMA9000 et *global positioning system (GPS* - système de localisation par satellite) CMA 3024.

¹ TACAN : *tactical air navigation* (système de navigation aérienne tactique).

² VOR : *VHF omnidirectional range* (variophare omnidirectionnel VHF).

³ ILS : *instrument landing system* - système d'atterrissage aux instruments.

Caractéristiques :

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis
Cellule	AS 532 AL	2 800	62h55+0h40	Echéance 50 h : 18h10
Moteurs	Makila 1A1	Gauche : 9 079	62h55+0h40	Dernière opération de maintenance : 9h05
		Droit : 9 078	62h55+0h40	Dernière opération de maintenance : 9h05

1.6.1. Maintenance

Les opérations de maintenance de l'appareil ont été effectuées conformément au programme d'entretien AS532 AL : échéances journalières, à 8, 10 et 25 heures de fonctionnement.

Le livret moteur identifie les opérations de maintenance sur chacun des moteurs. La dernière est datée du 18 juillet 2012. Il a été réalisé sur les deux moteurs à 54h30 de fonctionnement. Le lavage du compresseur, la mesure du temps d'autorotation, le contrôle visuel des sorties tuyères et endoscopique du second étage de la turbine libre ainsi que la vérification des bouchons magnétiques ont été effectués.

1.6.2. Carburant

- Type de carburant utilisé : Jet A1
- Quantité de carburant au décollage : 2 100 kg
- Quantité de carburant estimée au moment de l'événement : 1 500 kg

1.6.3. Masse et centrage

La masse au décollage est estimée à 8 060 kg sur la base de la fiche de pesée datée du 2 mai 2012 dans la configuration suivante:

- 6 personnes à bord ;
- 2 100 kg de carburant au décollage.

Le centrage longitudinal de l'appareil dans la configuration de décollage est calculé à 4,61 m c'est-à-dire sensiblement neutre (à la masse de 8 060 kg, la plage autorisée s'étend du maximum avant 4,47 m au maximum arrière 4,90 m).

Au moment de l'accident, soit environ 40 minutes après le démarrage des moteurs, la masse est estimée à 7 500 kg.

L'évolution du centrage consécutive à la consommation de carburant au cours du vol est demeurée comprise entre les limites autorisées.

1.6.4. Performances

La température est de 30° C sur la zone.

En l'absence d'enregistreur de vol, l'altitude du câble heurté est estimée à 2 200 pieds.

Compte tenu de la masse calculée de l'hélicoptère, le stationnaire bimoteur hors effet de sol est assuré et l'appareil capable en monomoteur d'un taux de montée supérieur à 550 pieds/mn.

1.6.5. Autres fluides

Les fluides prélevés dans les moteurs, la boîte de transmission principale (BTP), la BTI (boîte de transmission intermédiaire) et la boîte de transmission arrière (BTA) correspondent aux spécifications requises.

1.7. Conditions météorologiques

Les observations météorologiques de 13h00 font état d'un vent d'ouest faible (4 à 6 nœuds), les conditions de visibilité et de nébulosité sont CAVOK. La température est de 30 à 31° C et le QNH de 1 014. Aucun changement significatif n'est prévu dans les deux heures suivant l'heure d'observation.

A l'altitude de 1 500 pieds, le vent est d'ouest faible (5 nœuds) et la température de 28° C.

1.8. Aides à la navigation

L'appareil est équipé :

- d'un FMS ;
- d'un GPS ;
- d'un VOR/ILS/ *distance measuring equipment* (DME - appareil de mesure de distance) ;
- d'un TACAN.

1.9. Télécommunications

Lors de l'événement, le pilote n'est pas en liaison avec un organisme de circulation aérienne. Pour les besoins du contrôle de l'équipement de communication par satellite, deux contacts ont été établis en SATCOM avec le bureau essais-sol-système à 13h20 et 13h22. Un contact au moyen d'un téléphone portable a été établi à 13h26.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

Sans objet.

1.11. Enregistreurs de bord

L'appareil n'était pas équipé d'enregistreur de paramètres et d'enregistreur de voix de cockpit. Les mémoires statiques propres aux équipements ont été détruites par le feu qui a suivi l'accident.

L'appareil étant sur le point d'être livré à son propriétaire, l'ensemble des installations de mesures industrielles avait été déposé.

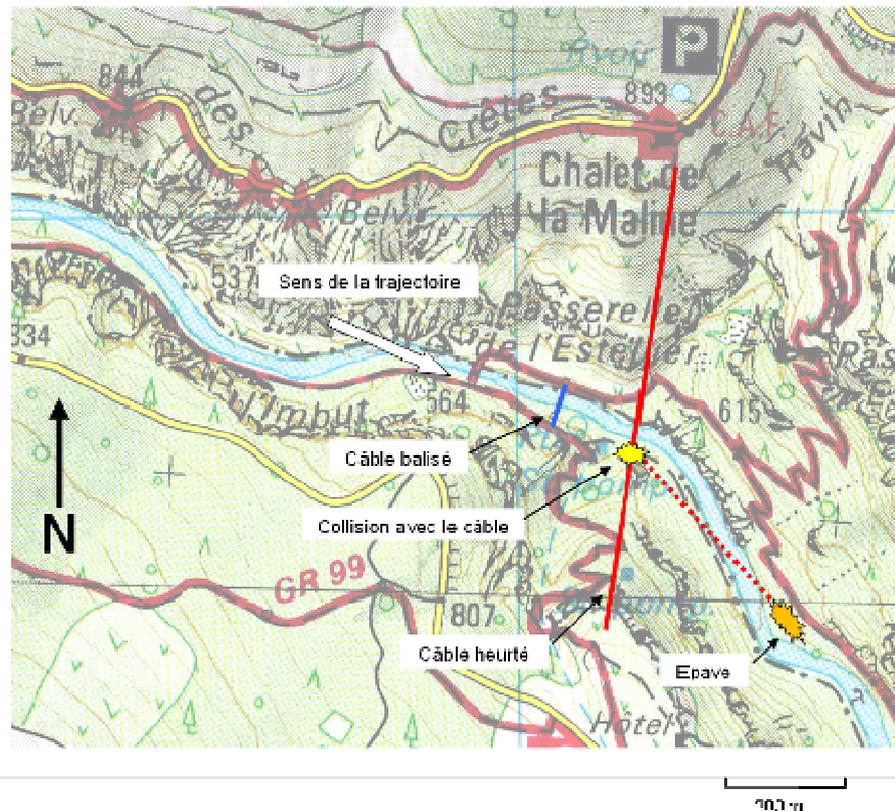
1.12. Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.12.1. Examen de la zone

Le site de l'accident se situe dans les gorges du Verdon entre l'hôtel des Cavaliers et le chalet de la Maline. A cet endroit les gorges sont étroites (500 à 700 m de largeur dans leur partie supérieure et 200 à 300 m au niveau du cours d'eau). La hauteur des gorges y est d'environ 300 m. Sur une distance de 5 km à l'ouest du câble heurté, les gorges sont très étroites et sinueuses. Elles sont très fréquentées en saison touristique.

A 200 m à l'ouest du câble, une passerelle enjambe le Verdon à environ 10 m de hauteur.

A mi-distance entre cette passerelle et le câble heurté, un câble balisé par des boules métalliques et signalé sur la carte de l'institut géographique national (IGN) à l'échelle 1/25 000 est tendu au-dessus du Verdon à environ 10 m de hauteur.



Zone de l'événement

Caractéristiques du câble heurté

Ce câble électrique de basse tension (220/380 volts) est tendu en travers des gorges au niveau du chalet de la Maline sur la rive nord et l'hôtel des Cavaliers sur la rive sud.

La portée est de 422 m entre deux poteaux implantés l'un au sud à l'altitude de 767 m d'altitude, et l'autre au nord à 715 m. Le câble n'est pas balisé et ne figure sur aucune carte. L'altitude du câble au point d'impact est de 670 m, soit une hauteur sol d'environ 120 m au dessus du fond de la vallée.

Il est composé d'un câble porteur en acier d'un diamètre de 14 mm composé de 37 brins et d'un câble d'alimentation électrique d'un diamètre de 27,1 mm composé de 3 câbles en aluminium. Ces câbles sont gainés d'un revêtement noir et reliés entre eux par cette même gaine.

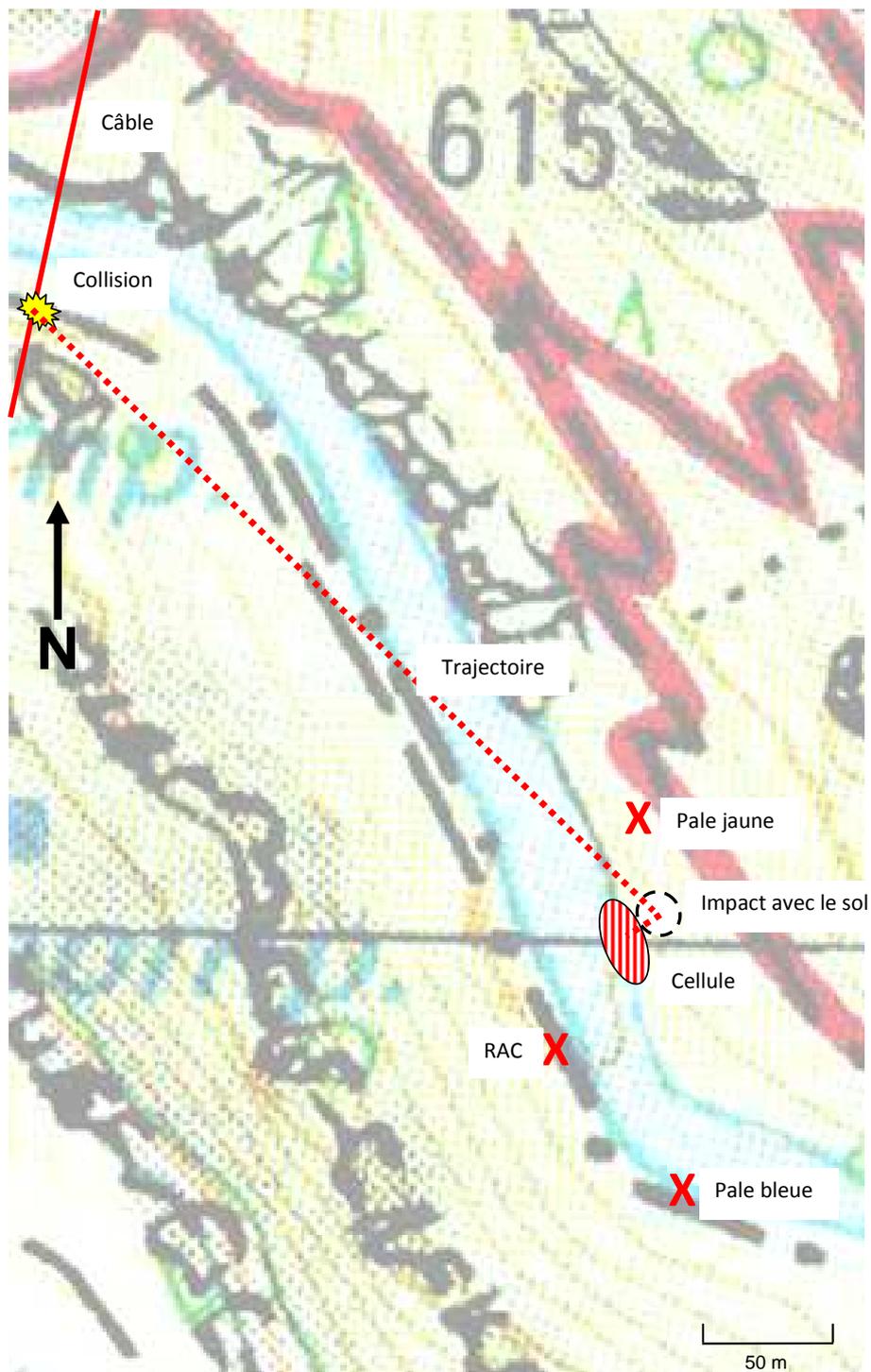


Coupe du câble composant la ligne électrique.

Un endommagement du revêtement est observable sur une longueur de 9,2 m. A ce niveau le câble électrique et le revêtement sont manquants sur une longueur de 3,6 m. Le câble acier n'est pas totalement sectionné mais plusieurs brins sont rompus.

1.12.2. Répartition de l'épave

L'appareil s'est écrasé dans une zone boisée à la base du flanc droit des gorges. Les arbres environnants sont endommagés à la verticale de l'épave et ont partiellement brûlé. La majeure partie de l'épave est concentrée dans une aire d'environ 400 m².



Répartition de l'épave

1.12.2.1. Zone principale de l'épave

Cette zone comprend les parties suivantes dissociées : la cellule, les ensembles propulseurs, la dérive, la poutre de queue et l'empennage.

- La cellule, orientée au 160 est calcinée.



Aspect général de la cellule

- Les ensembles propulseurs sont solidaires du plancher mécanique. L'ensemble MRP/BTP est séparé du plancher mécanique et distant de 7,4 m des turbomoteurs. Les pales rouge et noire sont toujours reliées au MRP. Une partie de la pale rouge est retrouvée de l'autre côté du Verdon à une trentaine de mètres au travers de l'épave.
- La dérive, située à une quinzaine de mètres en arrière de la cellule, est solidaire d'une partie de la poutre de queue.
Le plan fixe horizontal est détaché et a été partiellement détruit par l'incendie.
Le rotor anti-couple (RAC) est retrouvé sur la rive opposée du Verdon. La quille et la béquille sont absentes :
 - La quille repose à mi-distance entre le câble et l'épave.
 - La béquille, sectionnée au niveau de sa jonction avec la cellule, est retrouvée à une dizaine de mètres de la zone de dislocation de la poutre de queue. Elle présente sur les deux premiers tiers de sa longueur des stries régulières significatives d'un contact avec une armature métallique torsadée accompagnées de traces de caoutchouc noir. Le dernier tiers de la béquille ne présente aucun marquage similaire.

- La poutre de queue présente une pliure vers la gauche de l'appareil, des traces de suie sur son côté gauche et des traces de caoutchouc noir sur sa face inférieure droite.
Le plan de rupture avec la partie principale de la cellule est déchiré.

La dérive verticale est calcinée sur toute sa hauteur.

- Le plan fixe est retrouvé détaché de la dérive verticale, à proximité immédiate.
Son revêtement est déchiqueté et fondu.

1.12.2.2. Autres débris

- Pales du rotor principal

La pale bleue repose sur la berge opposée en avant de l'appareil à une centaine de mètres.

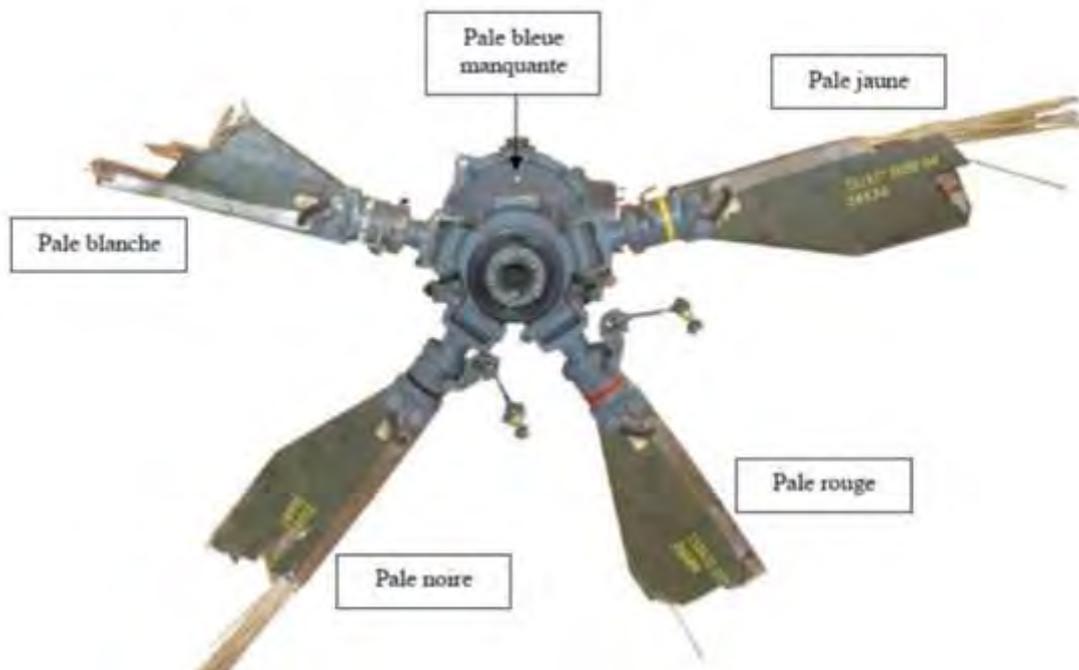
La pale jaune est retrouvée sur le flanc des gorges à une cinquantaine de mètres en arrière de l'épave.

- L'ensemble RAC/BTA ainsi que la partie du pylône sur lequel cet ensemble est fixé sont retrouvés sur la berge opposée à la zone d'impact avec le sol, à une distance d'environ cinquante mètres.

Les principaux endommagements du RAC sont :

- les pales blanche, rouge, jaune et noire sectionnées à environ un tiers de leur longueur ;
- l'absence de la pale bleue et de son ensemble manchon/fusée. Les recherches effectuées n'ont pas permis de les retrouver ;
- rupture de l'axe de battement de l'ensemble manchon/fusée blanc qui est toujours en place, l'absence des biellettes des pales bleue et blanche ainsi que l'extrémité des bras du plateau de commandes sur lesquelles elles sont fixées..

Des traces de caoutchouc noir sont visibles sur le bord d'attaque des pales restantes sur le RAC.



Etat du rotor anti couple

- D'autres débris sont retrouvés entre l'aplomb du câble électrique et la zone d'impact au sol, sur une distance d'environ 350 m :
 - la quille dont la jonction avec la poutre est découpée sur son premier tiers puis arrachée sur la partie restante ;
 - une biellette de pas du RAC (correspondant à la pale blanche) ;
 - des morceaux de pales de RAC ;
 - un boîtier bleu présentant l'identifiant AIRCELL.

1.12.2.3. Observations complémentaires

- Le marchepied gauche est calciné, sans trace apparente de déformation.
- Les entrées d'air polyvalentes (EAP) présentent des traces de calcination sur leur face interne. Seule la face externe de l'EAP droite est déformée.
- Le train auxiliaire, en position "rentré" ne présente pas de déformation.
- Le phare d'atterrissage (qui se situe sur le côté gauche de l'appareil) est en position rétracté et sa vitre n'est pas cassée.
- L'ensemble double Pitot (situé sur le côté gauche de l'appareil), calciné, ne présente aucune déformation visible.

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Membres d'équipage de conduite

1.13.1.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical :
 - type : centre d'expertise médical du personnel navigant (CEMPN) (Toulon)
 - date : 29 juin 2012
 - résultat : apte sans restriction pilote essais/ classe 1 / classe 2
 - validité : 31 décembre 2012 (6 mois)
- Médecine du travail d'Eurocopter : le 13 février 2012. Apte
- Examens biologiques : réalisés
- Blessures : décès par polytraumatisme

1.13.1.2. ENE 1

- Dernier examen médical :
 - type : CEMPN (Toulon)
 - date : 21 juin 2012
 - résultat : apte ENE, avec moyen de correction optique adapté obligatoire en vol et une paire de lunettes de secours en cabine
 - validité : 30 juin 2013
- Médecine du travail d'Eurocopter : le 21 février 2012. Apte
- Examens biologiques : réalisés

- Blessures : décès par polytraumatisme

1.13.1.3. ENE 2

- Dernier examen médical :
 - type : CEMPN (Toulon)
 - date : 16 septembre 2011
 - résultat : apte ENE sans restriction
 - validité : 30 septembre 2012
- Médecine du travail d'Eurocopter : le 1^{er} septembre 2010. Apte
- Examens biologiques : réalisés
- Blessures : décès par polytraumatisme

1.13.2. Autres personnels

Des constatations sur les corps des trois observateurs de bord sont communes :

- examens biologiques : réalisés
- blessures : décès par polytraumatisme

Un témoin, qui se trouvait sur les berges du Verdon, s'est blessé en voulant fuir lors de la chute de l'appareil et a été hélicitreuillé. L'examen médical a révélé une légère foulure.

1.14. Incendie

L'appareil a brûlé après impact avec le sol.

1.15. Questions relatives à la survie des occupants

1.15.1. Abandon de bord

Les victimes ont été retrouvées à leur place dans la cellule. Aucun indice d'une tentative d'abandon de bord n'a été mis en évidence.

1.15.2. Engagement d'un système d'arrêt

Sans objet.

1.15.3. Organisation des secours

La zone de l'événement, située dans le département des Alpes de Haute-Provence (04), est limitrophe du département du Var (83).

Les premiers secours proviennent du poste de secours saisonnier près de l'hôtel des Cavaliers (département du Var). L'intervention des moyens du service départemental d'incendie et de secours (SDIS) 83 a été coordonnée par le centre opérationnel départemental d'incendie et de secours (CODIS) 04 des Alpes-de-Haute-Provence.

La chronologie des principales actions liées aux secours est la suivante.

- Alerte à 13h39 par les témoins du chalet de La Maline.
- Deux pompiers secouristes, d'astreinte au poste de secours des « Cavaliers », descendent à pied dans les gorges.
- 13h46 : déclenchement de l'intervention de l'EC 145 médicalisé de la section aérienne de gendarmerie (SAG) de Digne. Décollage à 14h07.
- 13h56 : arrivée des deux pompiers secouristes sur le lieu de l'accident.
- 13h57 : arrivée d'une Gazelle de l'aviation légère de l'armée de terre (ALAT) déroutée par le contrôle du Luc-en-Provence sur demande du CODIS.
- 14h06 : deux hélicoptères bombardiers d'eau du Var (SDIS 83) et celui du SDIS 04 sont sur les lieux.
- 14h07 : les secours localisent l'appareil au fond des gorges en feu au niveau de la plage de Padissane.
- 14h26 : arrivée de l'EC 145 de la SAG.
- 14h31 : les premiers secouristes découvrent quatre corps dans les restes de l'appareil. Le feu de l'épave est en phase terminale.
- 15h27 : un 5^{ème} corps est découvert dans l'épave.
- 15h38 : évacuation par l'hélicoptère de la SAG d'une femme de 25 ans, témoin de l'accident et s'étant blessée en fuyant le lieu de l'événement.
- 17h52 : une 6^{ème} victime est retrouvée dans les restes de l'épave après dégagement d'une turbine.

1.16. Essais et recherches

Une reconstitution du rotor principal, du RAC et de la transmission arrière a été réalisée par la DGA. Elle a permis d'évaluer les dégâts subis et de définir le scénario d'endommagement de l'appareil.

Les conditions du vol ont été reproduites sur un simulateur représentatif de l'AS 532 AL.

Ce simulateur détient le plus haut niveau de qualification pour un équipement d'entraînement au vol simulé d'hélicoptère : *FSTD H Level D (Helicopter Flight Simulation Training Devices)*. Bien que ne reproduisant pas exactement le comportement d'un appareil réel dans toutes les conditions, il constitue l'outil le plus performant existant actuellement pour s'approcher des conditions de vol du moment sans utiliser un aéronef réel.

A l'occasion de ce vol ont été étudiées la réalisation pratique d'une panne de RAC, l'itinéraire suivi par l'aéronef dans les gorges et les évolutions auxquelles le pilote a pu se livrer à proximité du câble.

1.17. Renseignements sur les organismes

1.17.1. Organisation

Selon l'organisation d'Eurocopter, l'équipage relève du responsable de l'équipe « essais en vol production ».

Le pilote de l'appareil accidenté était chargé de la préparation des convoyages. Il désignait les équipages lorsque de telles missions devaient être réalisées. Compte tenu de son ancienneté, il suppléait le responsable essais en vol production lors de ses absences, ce qui était le cas au moment de l'événement.

1.17.2. Ordres de vol

La mission aérienne faisait l'objet d'une autorisation sur FOCUS et le vol était inscrit sur le registre des opérations aériennes conformément aux procédures en vigueur dans la société.

1.18. Renseignements supplémentaires

1.18.1. Règles de vol

Selon le « *flight operations manual* ⁴ » de la société Eurocopter, référencé ED 008 F, les vols d'essais et de production sont répartis en trois classes.

Classe A : vols d'essais expérimentaux qui nécessitent une ouverture de domaine de vol. Elle comprend deux catégories A1 et A2.

Classe B : vols d'essais qui se situent à l'intérieur du domaine de vol. Elle est subdivisée en B1 et B2.

Classe R : vols de productions. Elle est subdivisée en R1 et R2.

L'appendice 2D de ce même document précise que les vols de type A1 doivent être effectués en circulation d'essais et réception⁵ (CER). Les autres vols bénéficient du service d'alerte en déposant un plan de vol CER ou CAG.

⁴ Un extrait de ce document relatif aux vols d'essais de classe R figure en annexe 5

⁵ La CER est constituée par l'ensemble des mouvements des aéronefs en essais, en réception ou en vol à caractère technique qui, pour des raisons techniques et avec l'agrément du directeur du centre d'essais en vol, sont soumis à des procédures spécifiques fixées par ce dernier. La CER est une subdivision de la circulation aérienne militaire (CAM) qui concerne l'ensemble des mouvements des aéronefs qui, pour des raisons d'ordre technique ou militaire, relèvent de la réglementation propre à ce type de circulation.

Le vol de l'événement relève de la catégorie R2 et peut se dérouler en espace aérien de classe G. Il est effectué en CAG et fait l'objet d'un plan de vol réduit passé par radio lors du premier contact avec la fréquence sol de l'aéroport de Marseille.

1.18.2. Zone réglementée R 138

La zone R 138 a pour objet d'éviter aux aéronefs le survol du camp de Canjuers lors de parachutages, tirs sol/sol, sol/air ou air/sol et de vols de drones. Cette zone n'était pas active lors de l'événement.

1.18.3. Incendie consécutif à l'accident

Suite à l'impact avec le sol, un violent incendie s'est déclaré et a détruit la cellule de l'appareil. Les fluides ont brûlé et les composants électroniques ont été détruits.

L'incendie s'est propagé à la forêt environnante sur la rive droite du Verdon. Il a nécessité l'intervention de trois hélicoptères bombardiers d'eau.

1.18.4. Recherche de pièces manquantes

En l'absence de débris du RAC, un ratissage de la zone a été demandé à la préfecture des Alpes-de-Haute-Provence. Il a été confié au peloton de gendarmerie de haute montagne des Alpes-de-Haute-Provence et réalisé les 28 et 29 juillet. Ces recherches ont permis de retrouver une antenne VHF, des morceaux de pales de RAC ainsi que des morceaux de pales principales. Cependant la pale bleue et son ensemble manchon/fusée n'ont pas été retrouvés.

1.19. Techniques spécifiques d'enquête

Néant.

2. ANALYSE

Lors d'un vol de contrôle, l'hélicoptère AS 532 AL heurte un câble électrique et s'écrase au sol 350 m plus loin.

L'analyse qui suit s'appuie sur les résultats des expertises et les témoignages afin de déterminer les causes de l'événement dans le domaine des facteurs environnementaux et des facteurs humains et organisationnels.

2.1. Résultats des expertises et des témoignages

2.1.1. Trajectoire

L'appareil n'étant pas équipé d'enregistreur de vol, la trajectoire de l'appareil a été reconstituée à partir des enregistrements radio et radar de l'aéroport de Marseille, du relevé radar du centre de détection et de contrôle (CDC), de témoignages et de photographies prises par les témoins.

2.1.1.1. Itinéraire

L'appareil décolle à 13h07 de Marseille-Provence et quitte la zone par le nord-est. Il contourne la ville d'Aix-en-Provence par le nord et transite au cap est vers le nord de la montagne Sainte-Victoire. Il prend ensuite une route est-nord-est en direction du lac de Sainte Croix à sa vitesse de croisière à 2 500 pieds.

Des témoins ont photographié l'appareil au-dessus du Lac. L'analyse de ces photographies a permis d'estimer la hauteur de vol de l'appareil entre 50 et 100 m au-dessus du lac. Cette hauteur correspond à l'altitude relevée par le CDC.

Au cours des deux dernières minutes du vol enregistré par le radar, la vitesse est réduite à 80 nœuds.

Le dernier écho radar est enregistré à 13h32min43s à 6,2 km, dans le 315 du lieu de l'accident.

Des témoins observent l'hélicoptère remontant les gorges du Verdon en direction du sud-est à basse hauteur. Au niveau de l'Imbut (cf. carte paragraphe 1.1.2.1.), la largeur des gorges ne dépasse pas 250 m, plaçant l'appareil à une distance horizontale avec le relief inférieure à 125 m.

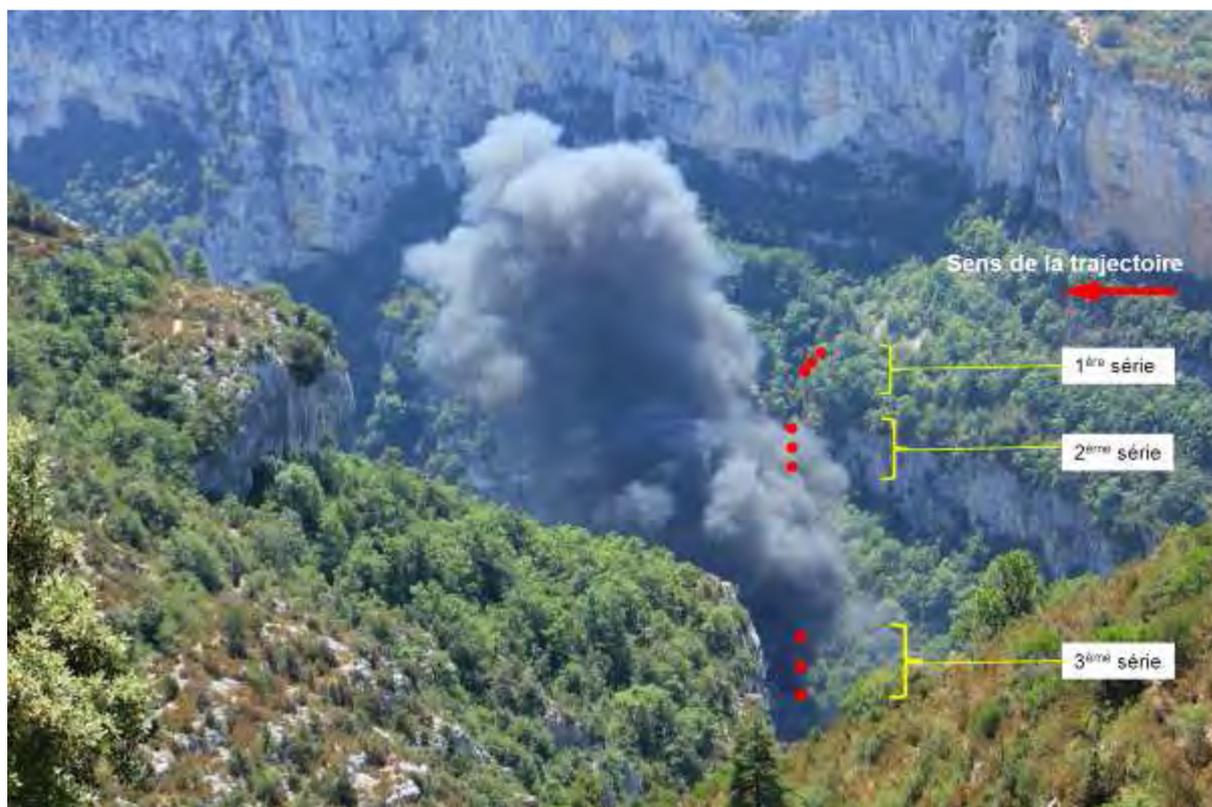
L'événement se produit à 13h38 entre l'hôtel des Cavaliers et le chalet de la Maline.

2.1.1.2. Trajectoire finale

La trajectoire de l'appareil dans les minutes précédant le heurt du câble ne peut être déterminée avec certitude. Seule la trajectoire finale postérieure à la collision peut être restituée.

Un photographe amateur a pris de nombreuses photos depuis le belvédère des glacières sur la route des crêtes, permettant de reconstituer la trajectoire finale de l'appareil après le heurt du câble. Trois séries de trois photos ont permis d'estimer le comportement de l'appareil avant l'impact avec le sol.

L'illustration suivante synthétise la trajectoire.

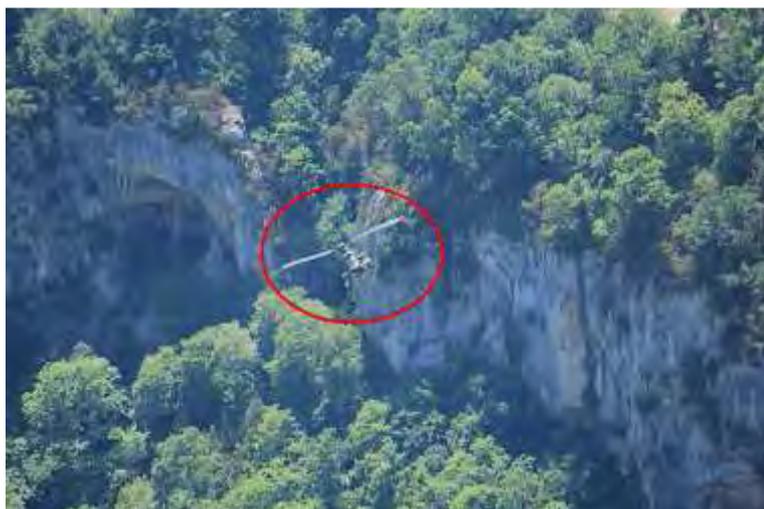


Synthèse de la position relevée de l'hélicoptère sur les 3 séries de photos

Première série



Deuxième série



Troisième série



La première image de la première série permet d'estimer la hauteur de l'appareil entre 100 et 150 m par rapport au lit du Verdon, ce qui correspond sensiblement à la hauteur du câble. Ceci semble indiquer un vol en palier entre le câble et la première prise de vue.

Sur les trois séries, l'appareil est animé d'une rotation en lacet dans le sens antihoraire.

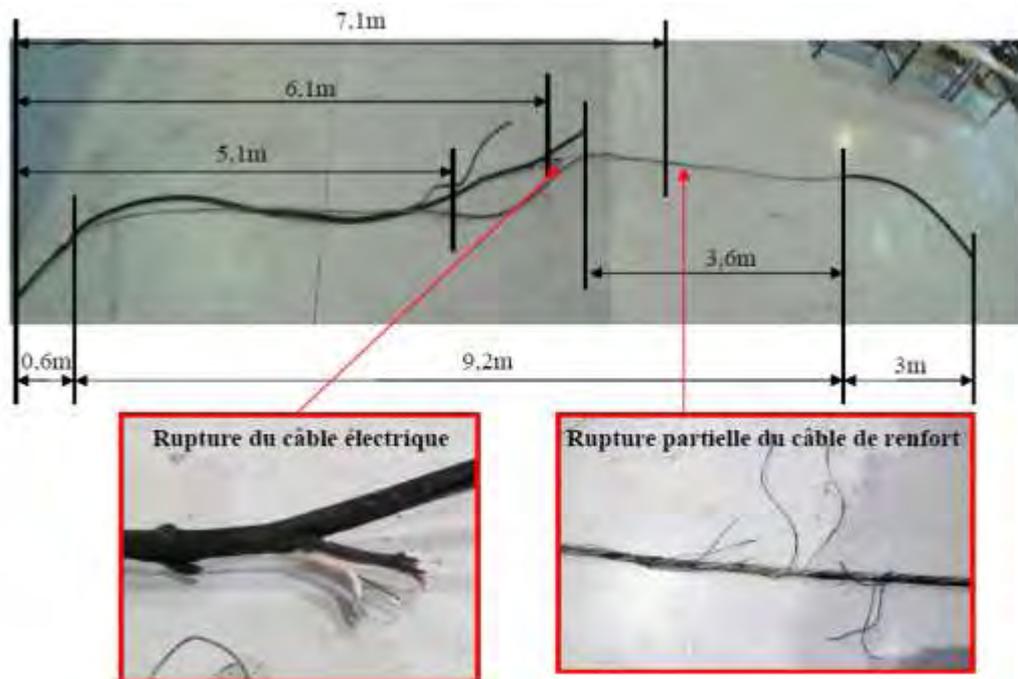
Les positions successives de l'appareil au cours des trois séries illustrent une chute verticale. L'appareil ne semble plus avoir de vitesse horizontale au début de la série de photos. Ceci indique une décélération de l'appareil en palier entre le câble et la première image.

Les photographies ont été prises en mode « rafale ». La durée de chaque rafale étant constante, la position des différents points témoigne d'une accélération de la vitesse verticale.

2.1.2. Ligne électrique

La partie de la ligne endommagée a été expertisée.

Un endommagement du revêtement est observable sur une longueur de 9,2 m. A ce niveau le câble électrique et le revêtement sont manquants sur une longueur de 3,6 m. Le câble acier n'est pas totalement sectionné mais plusieurs brins sont rompus.



Endommagement du câble

L'analyse des morceaux et des traces de caoutchouc relevés sur la quille et les pales du RAC de l'aéronef révèlent une composition identique à celle de la gaine du câble détérioré.

Les traces relevées sur l'appareil confirment qu'il a heurté la ligne électrique alimentant le chalet de la Maline.

2.1.3. Poutre de queue

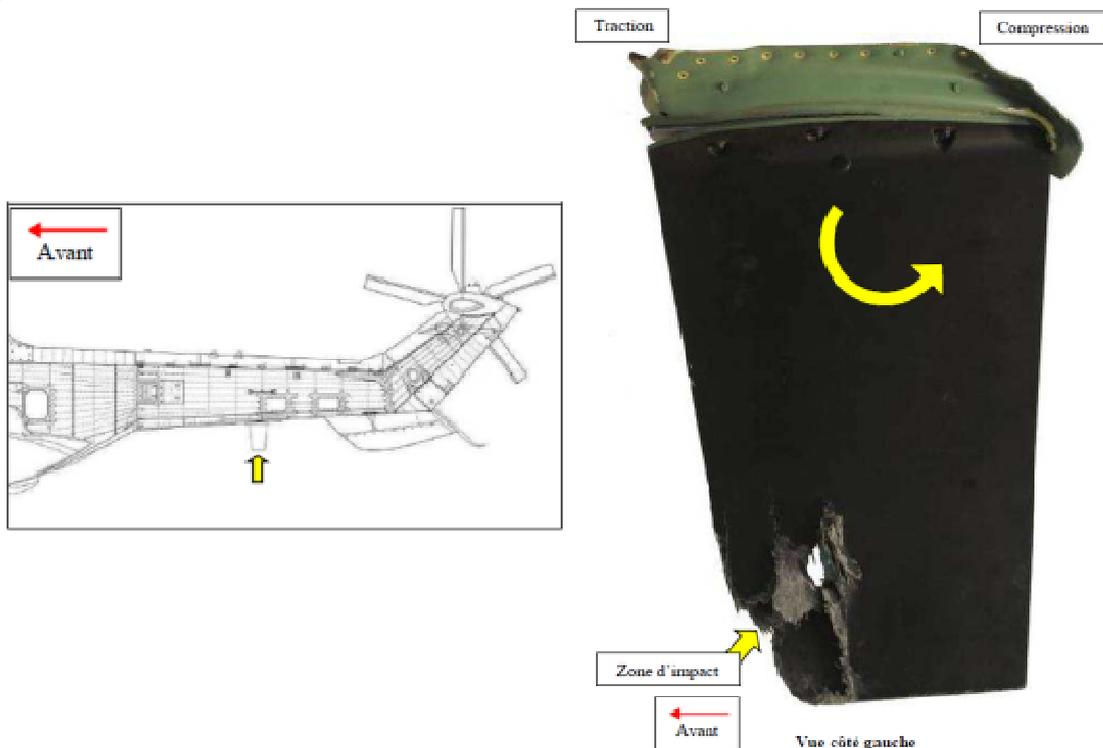
La partie inférieure de la poutre de queue de l'appareil est équipée d'une antenne VHF, d'une quille et d'une béquille.



Disposition des équipements sous la poutre de queue

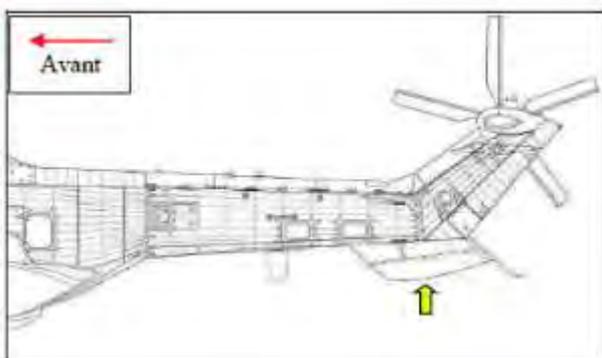
L'antenne VHF a été arrachée. Elle porte les traces d'un impact sur sa face avant, d'une taille concordante avec le diamètre du câble.

La déchirure provoquée par la pénétration du câble dans l'antenne forme un angle de 45° par rapport à l'horizontale.



Constats sur l'antenne

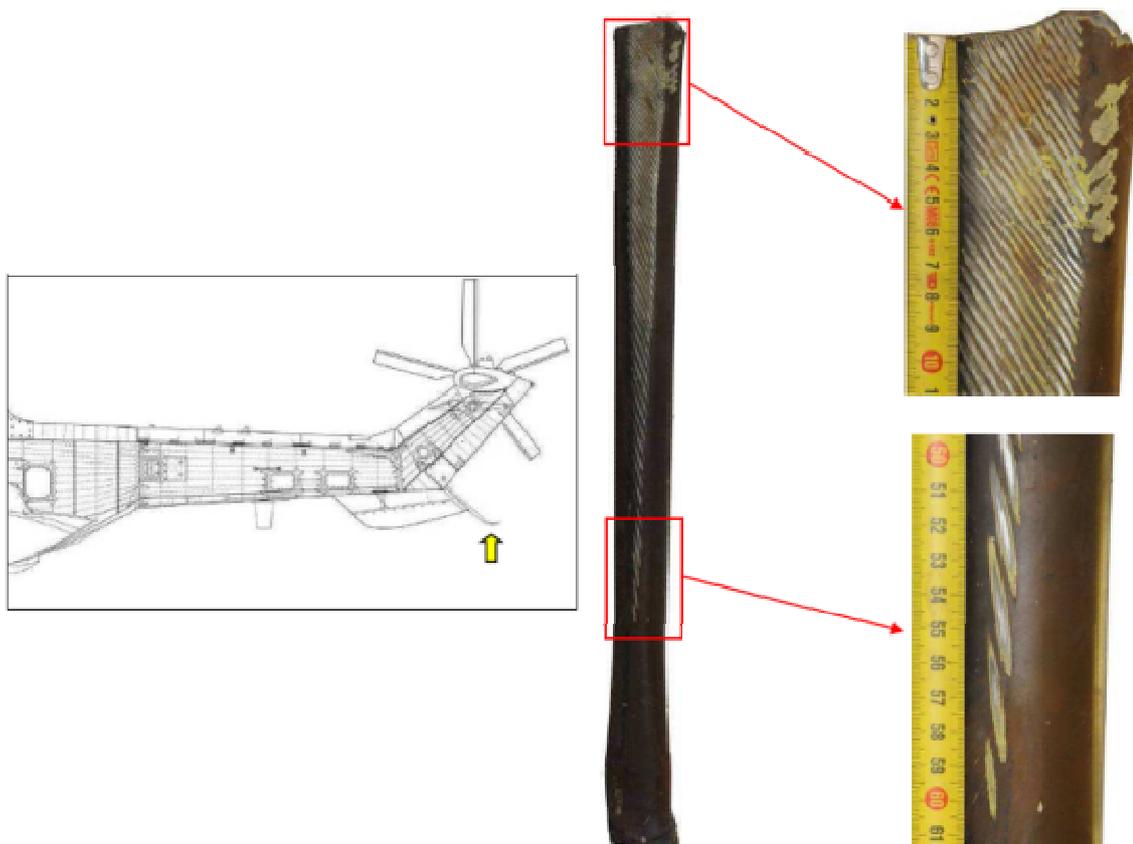
La quille a été arrachée et retrouvée à mi-distance entre le câble et l'épave. Elle comporte des résidus noirs dont la composition correspond à la gaine du câble.



Constats sur la quille

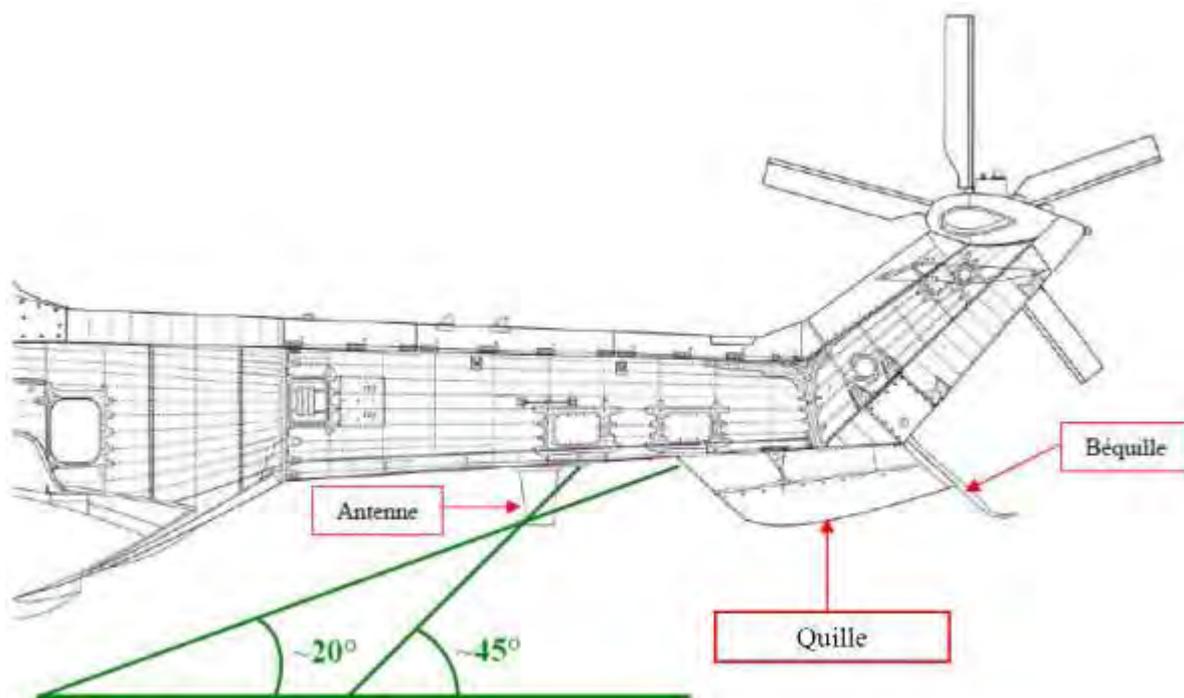
Retrouvée cassée sur le lieu de l'impact avec le sol, la béquille porte les traces d'un câble métallique torsadé correspondant au câble porteur de la ligne.

Sur les photos prises par le témoin pendant la chute de l'appareil elle semble parallèle à l'axe de la poutre de queue. Il paraît vraisemblable qu'elle ait été déformée lors du contact avec le câble.



Constats sur la béquille

Les expertises permettent de déterminer que l'appareil a heurté le câble avec une assiette comprise entre 20° (alignement de l'impact sur l'antenne VHF avec le début d'arrachement de la quille) et 45° (orientation de la trace dans l'antenne VHF).



Estimation de l'angle d'impact de la poutre de queue avec le câble

La partie inférieure de la poutre de queue a heurté le câble avec une assiette comprise entre 20 et 45°.

Le câble a glissé sous la poutre de queue et a traversé le RAC.

2.1.4. RAC

L'ensemble mécanique arrière, solidaire du sommet du pylône, a été retrouvé sur la berge opposée par rapport à l'épave.

Les pales ont été endommagées et le RAC s'est détaché de la cellule.

2.1.4.1. Endommagement des pales

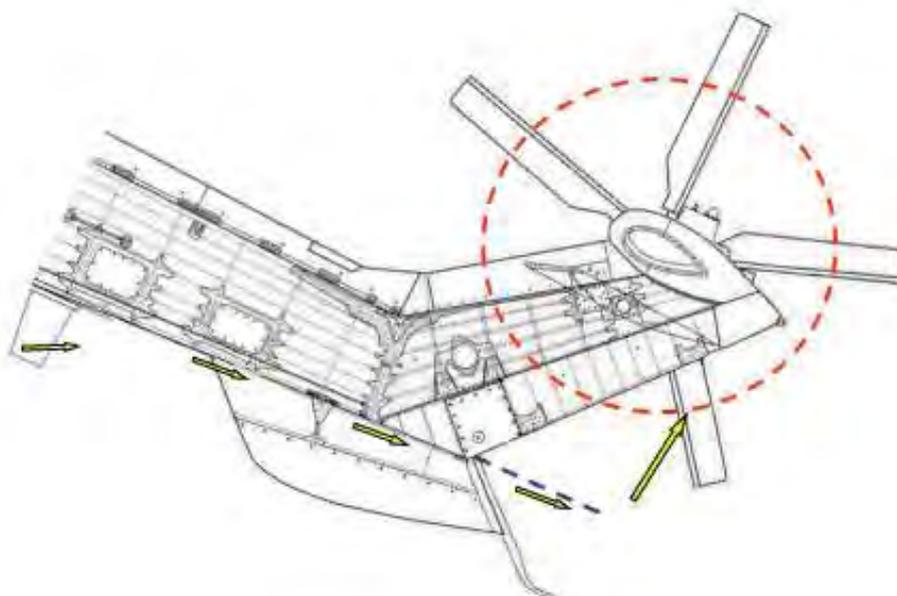
Lorsque le RAC est retrouvé, la pale bleue et son ensemble manchon/fusée sont manquants. Les autres pales sont sectionnées au tiers de leur longueur comme le montre l'illustration du §1.12.2.2.

Les pales ont été reconstituées. Elles présentent des traces de câble métallique ou des traces de caoutchouc noir.

Les résidus noirs sur les pales de RAC sont de la même composition que la gaine du câble et ont certainement été laissés lors du contact des pales avec le câble.

Les pales blanche, rouge et noire (cf. annexes 1, 2 et 3) présentent un impact avec un câble métallique torsadé à 80 cm du pied de pale et une rupture à 40 cm. Il est établi que l'impact avec le câble a détruit les pales à cet endroit.

Ainsi, il est possible d'affirmer qu'après avoir déformé la béquille (pointillés bleus sur le croquis ci-dessous), le câble est passé dans le RAC. Il a été heurté par chacune des pales au niveau du disque matérialisé en rouge ci-dessous.



Cheminement du câble

Privées des deux tiers de leur longueur, les pales n'ont plus permis au RAC de délivrer la puissance pour assurer le contrôle en lacet de l'appareil.

2.1.4.2. Séparation du sommet du pylône et du RAC

Les expertises menées sur la transmission arrière montrent que l'ensemble tournait et recevait de la puissance au moment de l'impact des pales du RAC avec le câble.

Les accouplements et paliers entre les arbres de transmission ont subi de forts endommagements : brides rompues, déformations (foisonnement et/ou cloquage) au niveau des disques d'accouplements flexibles « flector ».

L'exploitation d'une photo de l'appareil montre un pivotement du sommet du pylône et du RAC. L'examen visuel des ruptures sur ces pièces confirme un pivotement dans le sens horaire et un arrachement vers l'arrière gauche.

Cet arrachement s'est produit dans les dernières secondes de la chute de l'appareil avant l'impact avec le sol ce qui explique que cet ensemble ait été retrouvé à une cinquantaine de mètres de l'épave.



Pivotement du sommet du pylône et du RAC

La réduction des pales du RAC au tiers de leur longueur l'a rendu inopérant.

2.1.5. Rotor principal

2.1.5.1. Pales principales

Les pales noire et rouge⁶ sont retrouvées solidaires de la tête rotor. Elles ont subi des dommages liés à l'impact avec le sol puis à l'incendie.

La pale bleue, retrouvée à une centaine de mètres de l'épave, a vraisemblablement été éjectée lors de l'impact avec le sol suite au contact d'une autre pale avec le sol.

La pale jaune s'est détachée en vol dans les dernières secondes avant l'impact. Sur la photo ci-dessus on identifie le pied de pale, le manchon et un brouillard d'huile entre ce manchon et la tête rotor. Le brouillard d'huile semble lié à la libération de l'huile de lubrification de l'articulation de la pale jaune dans l'atmosphère.

Le contrôle métrologique réalisé sur le manchon et la fusée n'a pas révélé de déformation notable. Cette pale s'est donc désaccouplée du rotor au niveau de l'assemblage manchon/fusée. Bien que les examens ne permettent pas de le confirmer, il est probable que cet événement fasse suite à la collision de la pale bleue désolidarisé du RAC avec la pale jaune du rotor principal. Toutefois, d'autres scénarii peuvent encore être envisagés (fortes

⁶ Les pales sont repérées dans le sens horaire par des couleurs dans l'ordre : noire, rouge, jaune et bleue.

vibrations, dépassement des charges extrêmes ...). La pale jaune a été retrouvée à une cinquantaine de mètres de l'appareil.

2.1.5.2. BTP

Comme cela est visible sur l'agrandissement ci-dessous, la position normale du mât rotor en vol montre un espace important entre les capotages groupe turbo-moteur (GTM) et le mât rotor et un faible espace entre le mât rotor et le capotage BTP.



Déplacement du mât rotor vers l'avant gauche

Simultanément à l'arrachement de la pale jaune, le mât rotor a basculé vers l'avant gauche comme cela est visible sur la photo ci-dessus.

Les efforts subis par les barres de suspension de la BTP concordent avec ce basculement vers l'avant gauche du mât rotor.

Les expertises menées sur la platine assouplie, rompue en trois morceaux, confirment ce basculement. Elles permettent d'identifier un départ de rupture à l'arrière de la BTP et une propagation de la déchirure vers l'avant de l'appareil (cf annexe 4).

2.1.6. Moteurs

2.1.6.1. Entrées d'air polyvalentes

Les EAP ont été déformées lors de l'impact avec le sol puis ont subi les effets de l'incendie limitant les expertises :

- les EAP étaient en position ouvertes ;

- pas de trace d'ingestion de corps étranger dur ;
- pas de dépôt organique caractéristique de l'ingestion de volatile.

Les EAP ne portent pas d'indice correspondant à un heurt de volatile.

2.1.6.2. GTM gauche

Le moteur gauche a subi d'importants dommages liés à l'incendie.

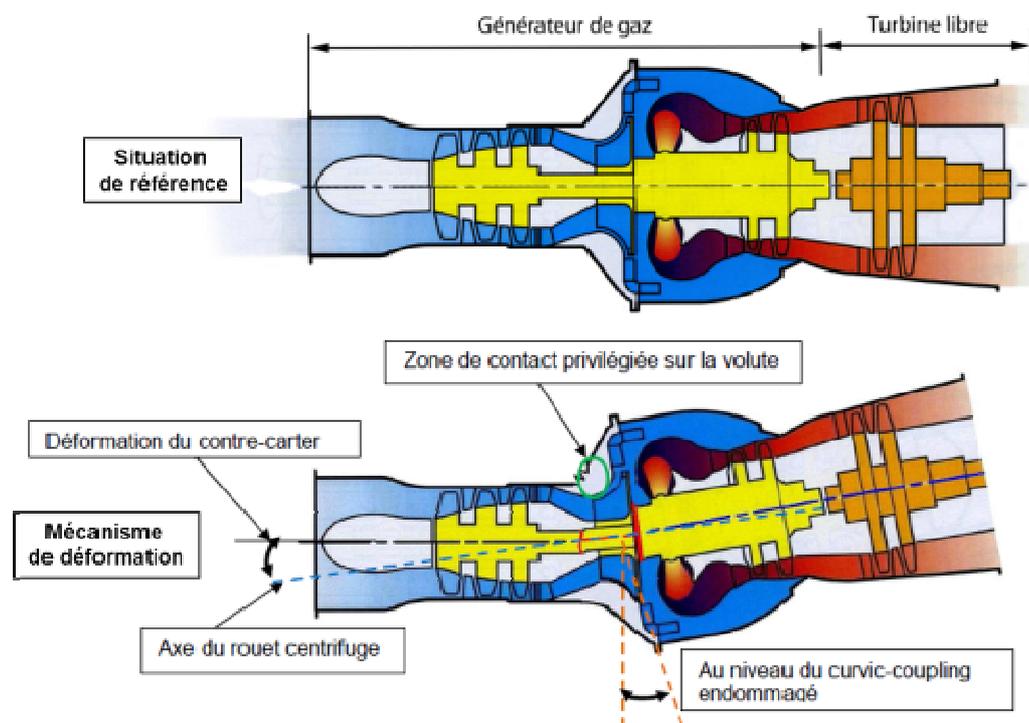
Une grande quantité de dépôt sablonneux ou végétal est retrouvée dans la veine d'air attestant d'un débit d'air significatif au moment de l'impact avec le sol.

Le générateur de gaz était en rotation à un régime élevé ainsi que les turbines de puissance.

Les endommagements des ensembles mécaniques internes résultent des chocs subis lors de l'impact et de l'incendie qui a suivi à l'exception de ceux relevés dans l'environnement du compresseur centrifuge.

Le compresseur centrifuge et les pièces qui lui sont associées (*curvic-coupling*, vis centrale, écrou) ont subi des dégradations qui résultent du désalignement de la ligne d'arbre du compresseur axial avec celui du compresseur centrifuge. Ce désalignement est consécutif à la déformation vers le haut de la turbomachine alors qu'elle était en fonctionnement.

Le schéma ci-dessous (dont les angles sont volontairement exagérés) illustre la déformation subie par le GTM gauche.



Déformation du GTM gauche

Les GTM sont solidaires de l'aéronef par trois points de fixation, deux à l'avant du GTM avec le plancher mécanique, un à l'arrière avec la BTP par l'intermédiaire d'un arbre de liaison. La déformation du GTM est cohérente avec un arrachement de la BTP selon le principe ci-dessous. L'arbre de liaison, solidaire de la BTP, est tiré vers le haut lors de l'arrachement de la platine assouplie. Le GTM pivote par rapport à ses deux points de fixation sur le plancher mécanique. La partie avant bloquée dans son mouvement vers le bas, génère un moment de flexion au niveau du générateur centrifuge.

Le compresseur centrifuge vient frotter sur son carter ce qui provoque un ralentissement de la turbine et les contraintes aboutissant aux endommagements constatés.

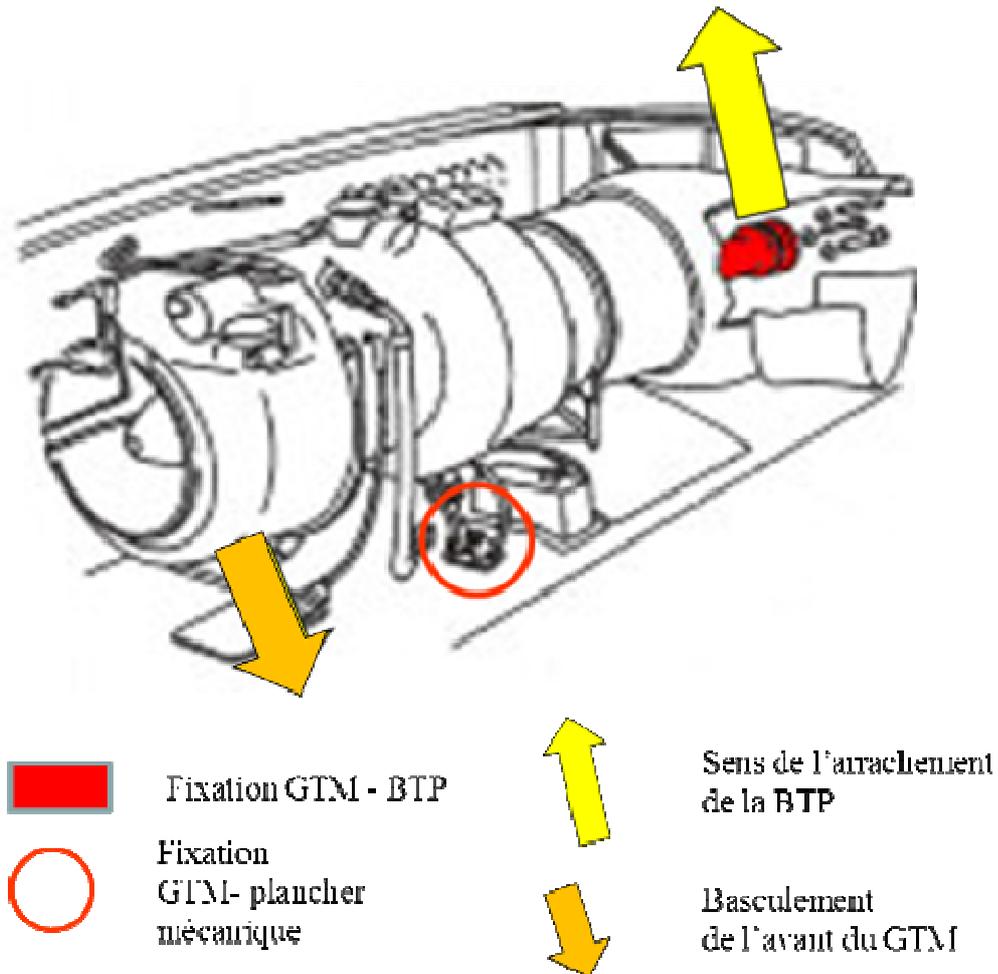


Schéma de principe de déformation du GTM gauche.

L'endommagement du GTM peut donc être associé à la deuxième photographie de la troisième série, lorsque le départ de la pale jaune provoque le basculement du mât rotor vers l'avant gauche. Il est donc antérieur à l'impact avec le sol mais postérieur au contact avec le câble.

2.1.6.3. GTM droit

Le moteur droit a également subi d'importants dommages liés à l'incendie.

La grande quantité de dépôt sablonneux retrouvée dans la veine d'air témoigne d'un débit d'air significatif à l'impact.

Lors de l'impact avec le sol, le générateur de gaz et les turbines libres étaient en rotation à un régime élevé.

Les examens réalisés n'ont pas révélé d'endommagement préexistant à l'événement. Les dommages résultent des chocs subis lors de l'accident et de l'incendie survenu au sol. Les endommagements identifiés sur le moteur gauche sont également présents sur le moteur droit mais de façon moins prononcée.

Les endommagements des moteurs et de la BTP sont postérieurs au heurt du câble.

2.1.7. Synthèse des expertises et des témoignages

L'appareil heurte la ligne électrique alimentant le chalet de la Maline avec une forte assiette à cabrer à une hauteur de 120 m environ par rapport au fond des gorges.

L'antenne VHF et la quille sont arrachées, la béquille est sectionnée et les 5 pales du RAC sont endommagées (chaque pale perd les deux tiers de sa longueur). L'appareil n'est plus contrôlable en lacet.

Le manchon de la pale bleue du RAC se désolidarise générant un fort balourd.

L'appareil perd sa vitesse en palier puis tombe verticalement animé d'une rotation dans le sens antihoraire.

Dès lors que le RAC n'a plus d'efficacité et que la vitesse horizontale décroissante est insuffisante pour stabiliser l'appareil sur son axe de lacet, l'appareil n'est plus pilotable.

Pendant la chute, le sommet de la poutre de queue se détache. La perte de la pale jaune du rotor principal génère un très fort balourd.

L'ensemble BTP-rotor bascule vers l'avant gauche ce qui provoque des dommages sur la platine assouplie, les barres de suspension et les GTM.

Le rotor principal ne génère plus de portance, l'appareil est alors en chute libre.

A l'impact avec le sol, la pale bleue est éjectée et l'appareil prend feu.

2.2. Recherche des causes

2.2.1. Causes techniques

Aucune cause technique préalable au heurt du câble n'a été mise en évidence au cours des investigations.

Aucune cause technique n'est à l'origine de la collision de l'hélicoptère avec le câble.

2.2.2. Causes environnementales

Les conditions météorologiques sont favorables au vol à vue. Le soleil est à son apogée et ne constitue pas une gêne pour le pilote.

Depuis 1958, le balisage des lignes électriques en dehors des aires de dégagement des aérodromes peut être imposé après examen particulier, en toutes régions sur les tronçons dont la hauteur dépasse 50 m de jour et 80 m de nuit.

Le câble heurté n'est pas balisé. Il est supporté par des poteaux en bois de couleur marron et d'une hauteur voisine à celle de la végétation environnante le rendant difficilement visible.

Compte-tenu de l'ancienneté de sa construction, il n'a pas été possible de trouver le dossier d'approbation du projet d'exécution de cette ligne et de demande de balisage de cet ouvrage.

L'absence de signalisation et de balisage du câble a contribué de manière probable à l'événement.

2.2.3. Causes liées aux facteurs humains et organisationnels

L'analyse des causes relevant des facteurs humains et organisationnels s'appuie sur le modèle *Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)*. Elle porte sur plusieurs niveaux :

- les défaillances actives ;
- les conditions préalables qui ont pu favoriser l'enchaînement de ces défaillances ;
- les conditions de non récupération qui n'ont pas permis d'éviter l'incident.

2.2.3.1. Défaillances actives

Trois défaillances actives ont été mises en évidence lors de cet événement :

- hauteur de vol ;
- détection tardive du câble ;
- technique inappropriée d'évitement.

2.2.3.2. Hauteur de vol.

A 13h29, l'hélicoptère est observé au-dessus du lac de Sainte-Croix à une hauteur estimée entre 50 et 100 m. Peu avant l'accident à 13h36, des témoins le voient évoluer dans les gorges. A 13h38 l'appareil heurte le câble à une hauteur sol de 120 m.

En CAG, sauf exceptions, les vols doivent se faire au minimum à 150 m du sol ou de l'eau et à une distance de 150 m de toute personne, véhicule et obstacle artificiel.

L'essai SATCOM nécessitait un profil de vol dans le relief mais demeurait compatible avec les règles de la CAG.

Le manuel des opérations aériennes d'Eurocopter prévoit que le vol en-dessous de 1 500 pieds ne doit être réalisé que lorsqu'il existe une raison objective de le faire.

Lors de l'événement, l'appareil évoluait en deçà de la hauteur minimale de survol prévue en CAG.

L'écart par rapport à la règle de hauteur de vol en CAG place l'appareil et son équipage dans un profil de vol non sûr. En l'absence d'enregistreur de paramètres et des sons du poste de pilotage, deux hypothèses sont à envisager : celle d'écarts involontaires aux règles et celle d'écarts volontaires aux règles.

Écarts involontaires aux règles

Compte-tenu des qualifications et de l'expérience des membres d'équipage impliqués dans cet événement, la méconnaissance des règles de hauteur minimale de survol en CAG n'est pas envisageable.

Le maintien d'une altitude de vol dans un relief du type des gorges du Verdon est particulièrement difficile à réaliser. Il n'est pas exclu que le non respect des hauteurs minimales de survol soient la conséquence d'un raté d'exécution.

Outre le pilote CdB, deux ENE font partie de l'équipage. Un se consacre à la conduite de l'aéronef et l'autre à la gestion des essais du SATCOM. La répartition des tâches au sein de l'équipage apparaît clairement.

Un dysfonctionnement du combiné SATCOM du siège « VIP » a été signalé à 13h26 (soit 12 minutes avant l'accident) par téléphone portable par l'ENE 2 à un opérateur situé à Marignane. Cela n'est cependant pas suffisant pour générer une charge de travail excessive.

L'écart involontaire ayant entraîné le non respect de la hauteur de vol, peut avoir été induit par un raté d'exécution.

Ecart volontaires⁷ aux règles

- Ecart volontaire aux règles pour le bien de la mission

Les gorges du Verdon présentent des conditions environnementales favorables au contrôle des équipements SATCOM dans un contexte de propagation des ondes particulièrement dégradé.

On ne peut donc exclure l'éventualité que l'équipage ait estimé que pour garantir une qualité maximale des tests du SATCOM en situation défavorable, la mission nécessitait de dépasser les limites imposées par les règles de la CAG.

L'hypothèse selon laquelle un écart volontaire pour la réalisation de la mission constitue une des causes de l'événement est possible.

- Ecart volontaire aux règles sans lien avec la mission

La trajectoire de la première partie du vol restituée par le radar de l'aéroport de Marseille-Provence indique un vol réalisé à une hauteur conforme aux règles de la CAG et tourné vers la mission de contrôle du bon fonctionnement de l'aéronef et de ses équipements.

Par la suite, l'écart à la règle de hauteur minimale de survol en CAG n'est plus ponctuel et isolé. Il est déjà manifeste dès le survol du lac de Sainte-Croix, bien avant l'entrée des gorges du Verdon, lieu touristique réputé pour ses points de vue exceptionnels. Un tel environnement peut permettre d'allier exigences de la mission et satisfactions personnelles.

Dans le cas particulier de l'événement, la réalisation de ce vol de contrôle dans les gorges du Verdon permet à l'équipage de voler dans un environnement susceptible d'offrir des avantages en termes de paysages et de démonstration de savoir-faire.

La recherche d'avantages individuels sans lien direct avec la mission est possible.

2.2.3.3. Détection tardive du câble

L'attitude de l'appareil lors de sa collision avec la ligne témoigne d'une tentative d'évitement consécutive à la détection du câble.

Le CdB (assis en place droite) travaille en équipage avec son ENE (assis en place gauche). Conformément à leur formation reçue à l'EPNER et à la pratique des essais en vol au sein de la société Eurocopter, l'ENE participe à la détection des obstacles. En l'absence de témoignage et d'enregistrement, la répartition des tâches au sein de l'équipage n'a pas pu être établie, et le membre d'équipage qui a perçu la présence du câble n'a pas été identifié.

⁷ Pour que ce type d'écart soit possible, trois éléments doivent être réunis : un avantage procuré par le comportement (l'écart volontaire doit rendre le travail plus facile ou être une façon plus rapide de réaliser la tâche ou encore doit rendre le travail plus intéressant ou permettre de montrer son savoir-faire), une tolérance de la hiérarchie et un sentiment pour l'équipage que l'écart à la règle ne constitue pas une prise de risque. Ce type d'écart est principalement perçu comme un bénéfice, tant pour l'équipage que pour l'organisme : les bénéfices sur la production à court terme étant perçus comme supérieurs aux hypothétiques risques pour la sécurité du vol, qui paraissent, par ailleurs maîtrisés ou improbables.

Le câble ne figure pas sur les cartes de l'IGN à faible échelle (notamment 1/25 000 et 1/100 000). Cependant, le pilote connaît cette zone où il pratique des activités de loisir, et le câble est connu d'autres pilotes de la société Eurocopter.

Le pilote est un ancien de l'ALAT, il connaît les principes du vol tactique et le danger représenté par les lignes électriques. Il sait détecter et franchir une ligne électrique. Lors de sa formation à l'EPNER, l'ENE a appris à participer à la détection des obstacles.

Cette ligne n'est dotée d'aucun balisage et sa couleur noire la rend difficilement visible. Compte-tenu de la trajectoire suivie par l'appareil et sa hauteur de vol, vu depuis la cabine de pilotage le câble se trouve en grande partie superposé à la falaise rocheuse en arrière-plan. Le faible contraste entre ce câble et son environnement a pu rendre sa détection difficile.

La surveillance active n'a pas été efficace. Ce type d'erreur peut être dû à une défaillance du balayage visuel et/ou de perception.

La détection tardive du câble par l'équipage s'explique par le faible contraste de la ligne par rapport à son environnement.

2.2.3.4. Technique inappropriée d'évitement

L'attitude à cabrer de l'appareil selon un angle compris entre 20 à 45° est caractéristique d'une tentative d'évitement du câble en utilisant la commande de pas cyclique.

Le pilote aux commandes connaissait les principes de franchissement d'obstacle près du sol. Lorsque l'appareil dispose d'une réserve de puissance, l'évitement d'un obstacle par le haut doit se faire en utilisant la commande de pas général (PG). Cette méthode permet de garder la même assiette et par conséquent d'estimer précisément la marge de franchissement de l'obstacle tout en augmentant la portance donc la vitesse verticale de l'appareil. Une action sur la commande de pas cyclique, modifie les références visuelles du pilote, incline la résultante aérodynamique vers l'arrière et offre une surface plus importante face à l'obstacle.

Les essais réalisés dans les mêmes conditions au simulateur ont abouti à une vitesse verticale plus importante lors d'une action sur la commande de PG que lors d'une action sur la commande de pas cyclique.

Très expérimenté sur hélicoptère puisqu'il totalisait presque 10 000 heures de vol, ce pilote d'essais ne pouvait ignorer ce comportement propre à l'hélicoptère. Il peut donc être déduit que c'est par un acte réflexe lié au danger immédiat représenté par la proximité du câble que le pilote a appliqué une technique inappropriée en agissant sur la commande de pas cyclique pour tenter d'éviter l'obstacle.

La mise en œuvre d'une technique inappropriée d'évitement d'obstacles constitue une cause probable de l'événement.

2.2.3.5. Conditions de survenue

- Supervision inadéquate

Cet événement met en évidence les particularités de la préparation et de la supervision des vols au sein d'Eurocopter.

De nombreuses zones sont utilisées pour réaliser les essais en vol. Leur choix est laissé à l'appréciation du CdB en fonction des essais à réaliser. La « zone nord », prévue pour le vol, offre une grande autonomie à l'équipage dans le choix du secteur de travail qui sera utilisé. Cela lui permet de définir et de modifier le secteur de travail même en cours de vol pour s'adapter aux exigences des essais et des contrôles.

Cela peut notablement retarder la localisation de l'aéronef lors des opérations de recherches et de sauvetage qui font suite à un accident. En l'occurrence, il a fallu plusieurs heures pour établir que l'appareil était un hélicoptère utilisé par la société Eurocopter et connaître la composition de l'équipage.

Si les aspects techniques relatifs aux éléments à vérifier sont définis dès la phase de préparation du vol (fiches de contrôle, présence d'un spécialiste à bord), les aspects en lien avec la sécurité aérienne ne sont pas détaillés.

En effet, la mission ne semble définie par Eurocopter qu'en termes d'objectifs à atteindre et non de règles d'actions auxquelles les équipages sont tenus de se conformer. Cela peut conduire à des ambiguïtés ou des interprétations sur la façon de réaliser la mission et à une moindre préparation des missions (manque d'anticipation et évaluation erronés des dangers potentiels).

Cette autonomie peu supervisée ouvre la voie à des dérives telles que la réalisation des vols dont une composante est tournée vers la satisfaction d'objectifs plus personnels qu'en lien avec la mission.

Un défaut de supervision a pu contribuer à l'événement.

- Entraînement au vol en TBA et à la procédure d'évitement de câble

Le bureau des opérations de l'entreprise ne détient pas de document qui recense et décrit les zones utilisables en fonction de leur adéquation avec les besoins des essais.

Ce fonctionnement repose sur l'expertise d'équipages formés aux essais en vol par l'EPNER.

Cependant, lors d'essais de matériel rarement mis en œuvre, le CdB se trouve dans une situation de pratique occasionnelle. Dans le cadre du vol de l'événement, il n'existe de zone préalablement dédiée aux essais de l'équipement SATCOM. Pour préparer cet essai, le CdB a fait appel à un deuxième ENE spécialiste système.

L'essai pouvait être réalisé à un niveau de vol élevé (FL 100) ou lors d'un vol en région montagneuse où le relief pourrait perturber la propagation des ondes. Le choix d'une zone montagneuse correspond à l'emploi le probable auquel était destiné l'appareil appartenant à l'armée albanaise.

Bien qu'il existe des reliefs élevés proches de Marignane tel que le Mont Ventoux, la zone des gorges du Verdon a été retenue. En l'absence de témoignage et d'enregistrement, la raison de ce choix n'a pas pu être déterminée.

L'hypothèse selon laquelle l'imprécision de la documentation relative aux zones d'essais et la latitude de décision laissée au commandant de bord ont contribué à l'événement est probable.

2.2.3.6. Conditions de non récupération.

- Réglage de l'alarme de la radiosonde.

L'information donnée par la radiosonde est accessible au pilote et à l'ENE 1. En fonction de son réglage, son alarme est utilisée pour prévenir d'une réduction de la marge de hauteur par rapport au sol.

L'état de l'épave n'a pas permis de déterminer la hauteur sélectionnée sur l'index de la radiosonde. Selon le manuel des opérations aériennes d'Eurocopter, lorsque l'appareil est équipé d'une radiosonde, l'index doit être réglé à une hauteur adaptée, généralement 300 pieds (environ 100 m). Lors du vol de l'événement, le réglage de la sonde à 100 m n'aurait pas généré d'alarme puisque l'appareil heurte le câble à une hauteur de 120 m.

Le réglage de la radiosonde précisé dans le manuel des opérations aériennes d'Eurocopter ne permettait pas à l'équipage d'être alerté du passage sous la hauteur de 150 m.

- Application de la procédure de panne du RAC.

Les dommages subis par le RAC de l'appareil lors du heurt avec le câble lui ont fait perdre son efficacité.

La procédure décrite par le manuel de vol en cas de panne du RAC prévoit de passer immédiatement en autorotation et d'effectuer un atterrissage, les deux moteurs coupés, en conservant la vitesse de roulage la plus élevée possible en fonction du terrain.

La vitesse de 80 nœuds doit être recherchée pour réaliser l'atterrissage. Elle permet de conserver l'effet directif de la dérive qui assure le maintien de l'appareil sur son axe de lacet malgré la perte du RAC. Si elle est inférieure à 55 nœuds cet effet de dérive n'est plus suffisant pour conserver le contrôle de l'appareil en lacet.

Compte-tenu de l'étroitesse de la vallée, de la hauteur et de la succession de virages précédant le lieu de l'accident, il a été déterminé que l'appareil évoluait vraisemblablement à une vitesse inférieure ou égale à 65 nœuds.

Lors des essais effectués sur simulateur, il a été déterminé qu'un cabré de 20° appliqué à un appareil volant à 65 nœuds, provoque une réduction de vitesse à 30 nœuds en 1 à 2 secondes. A cette vitesse l'effet de dérive est insuffisant pour permettre la stabilisation en lacet de l'hélicoptère en cas de perte du RAC.

Il est probable qu'après le heurt du câble, le pilote ait cherché à reprendre de la vitesse sans y parvenir. Subissant une cadence importante suite à la perte du RAC, il a pu baisser le PG, ce qui expliquerait l'augmentation de la vitesse verticale de l'appareil.

La vitesse de l'appareil immédiatement après le heurt du câble n'a pas permis au pilote d'appliquer la procédure de panne du rotor anti-couple.

3. CONCLUSION

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

Les conditions météorologiques sont bonnes.

L'appareil est en bon état de fonctionnement.

Il évolue dans les gorges du Verdon à une hauteur inférieure à 150 m.

L'équipage aperçoit le câble tardivement et initie une manœuvre d'évitement réflexe au cyclique en cabrant son appareil.

Il heurte une ligne électrique non balisée et difficilement visible au niveau de la partie inférieure de la poutre de queue avec un angle de 20 à 45° à cabrer.

Le RAC endommagé devient inopérant.

L'appareil n'est plus pilotable après la collision avec le câble, et sa vitesse ne permet pas au pilote de réaliser une procédure de panne de RAC.

3.2. Causes de l'événement

Les causes de l'accident relèvent des facteurs liés à l'environnement et des facteurs humains et organisationnels.

Elles ont pour origine :

- un défaut de respect de la hauteur de survol ;
- l'absence de signalisation du câble ;
- une manœuvre inappropriée d'évitement du câble ;
- un défaut de supervision.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

4.1.1. Balisage de la ligne électrique

L'arrêté interministériel relatif aux installations dont l'établissement à l'extérieur des zones grevées de servitudes aéronautiques de dégagement est soumis à autorisation du 25 juillet 1990 stipule : « ...ne peuvent être soumis à un balisage diurne et nocturne ... que les installations (y compris les lignes électriques) dont la hauteur en un point quelconque au-dessus du niveau du sol ou de l'eau est supérieure à :

- a) 80 m, en dehors des agglomérations ;
- b) 130 m, dans les agglomérations ;
- c) 50 m, dans certaines zones, ou sous certains itinéraires où les besoins de la circulation aérienne le justifient, notamment :
 - les zones d'évolution liées aux aérodromes ;
 - les zones montagneuses ;
 - les zones dont le survol à très basse hauteur est autorisé. »

Les gorges du Verdon sont une zone touristique saisonnière fréquentée. Le seul moyen rapide de porter assistance à des personnes en danger est l'hélicoptère, et à ce titre les appareils de la gendarmerie et de la sécurité civile sont amenés à intervenir au fond des gorges. Bien que les équipages aient l'expérience de cette zone de vol, l'engagement personnel lié aux missions de secours peut amener un équipage à oublier l'obstacle présenté par la ligne électrique difficilement décelable.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à

la DSAé d'entreprendre les mesures nécessaires pour faire équiper ce câble électrique d'un dispositif de balisage.

4.1.2. Evitement d'obstacle

A faible vitesse, un évitement d'obstacle au PG est plus efficace qu'une action à cabrer au pas cyclique (montée plus rapide, moindre surface exposée).

Compte tenu de l'emploi des hélicoptères dans des missions les amenant à évoluer à proximité des obstacles, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à :

tous les exploitants d'Etat mettant en œuvre des hélicoptères :

- d'assurer une large diffusion de ce rapport ;
- de systématiser le rappel de la procédure d'évitement d'obstacles au PG lors du briefing préparatoire des vols à basse et très basse altitude.

4.1.3. Supervision.

La mission ne semble définie par Eurocopter qu'en termes d'objectifs à atteindre et non de règles d'actions auxquelles les équipages sont tenus de se conformer. Cela peut conduire à des ambiguïtés ou des interprétations sur la façon de réaliser la mission et à une moindre préparation des missions (manque d'anticipation et évaluation erronée des dangers potentiels).

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à :

la société Eurocopter de préciser le cadre d'exécution des missions afin d'améliorer la sécurité des vols (choix et particularités de la zone, composition de l'équipage, etc.).

Le choix de la zone utilisée est laissé à l'appréciation du CdB. Cela peut retarder la localisation de l'aéronef lors des opérations de recherches et de sauvetage qui font suite à un accident. En l'occurrence, il a fallu plusieurs heures pour établir que l'appareil était opéré par Eurocopter et connaître la composition de l'équipage.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à :

la société Eurocopter d'améliorer le suivi des vols.

4.1.4. Catalogue de zones

Les zones dans lesquelles des essais en vol peuvent être réalisées sont nombreuses. Sans être toutes formalisées, elles semblent bien connues des pilotes d'essais d'Eurocopter qui choisissent la zone utilisée en fonction des essais qu'ils ont à réaliser.

Le choix de la zone par le CdB repose sur la formation qu'il a reçue à l'EPNER mais aussi sur son expérience. Un outil d'aide à la décision pourrait alors être mis à sa disposition.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à :

la société Eurocopter de mettre en place un catalogue des zones adaptées à chaque type de vol d'essais et d'y préciser les dangers particuliers.

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

4.2.1. Choix des zones de vol de contrôle

Dans le message de premières informations⁸ le BEAD-air a recommandé à :

la société Eurocopter d'orienter le choix des zones survolées lors de ses vols de contrôle en tenant compte des zones de fréquentations touristiques saisonnières.

4.2.2. Enregistreur de vol

L'absence d'enregistreur d'accident a pénalisé les investigations et la compréhension de l'événement.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à :

la société Eurocopter d'étudier l'installation temporaire d'un enregistreur d'accident amovible lors des vols de contrôle d'appareils dépourvus de moyen d'enregistrement.

4.2.3. Documentation

Lors des investigations, il n'a pas été possible de connaître le programme du vol de contrôle. Le contenu des essais a dû être reconstitué à partir des documents existants.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à :

la société Eurocopter de dupliquer les fiches de vol avant l'activité aérienne et d'en conserver un exemplaire.

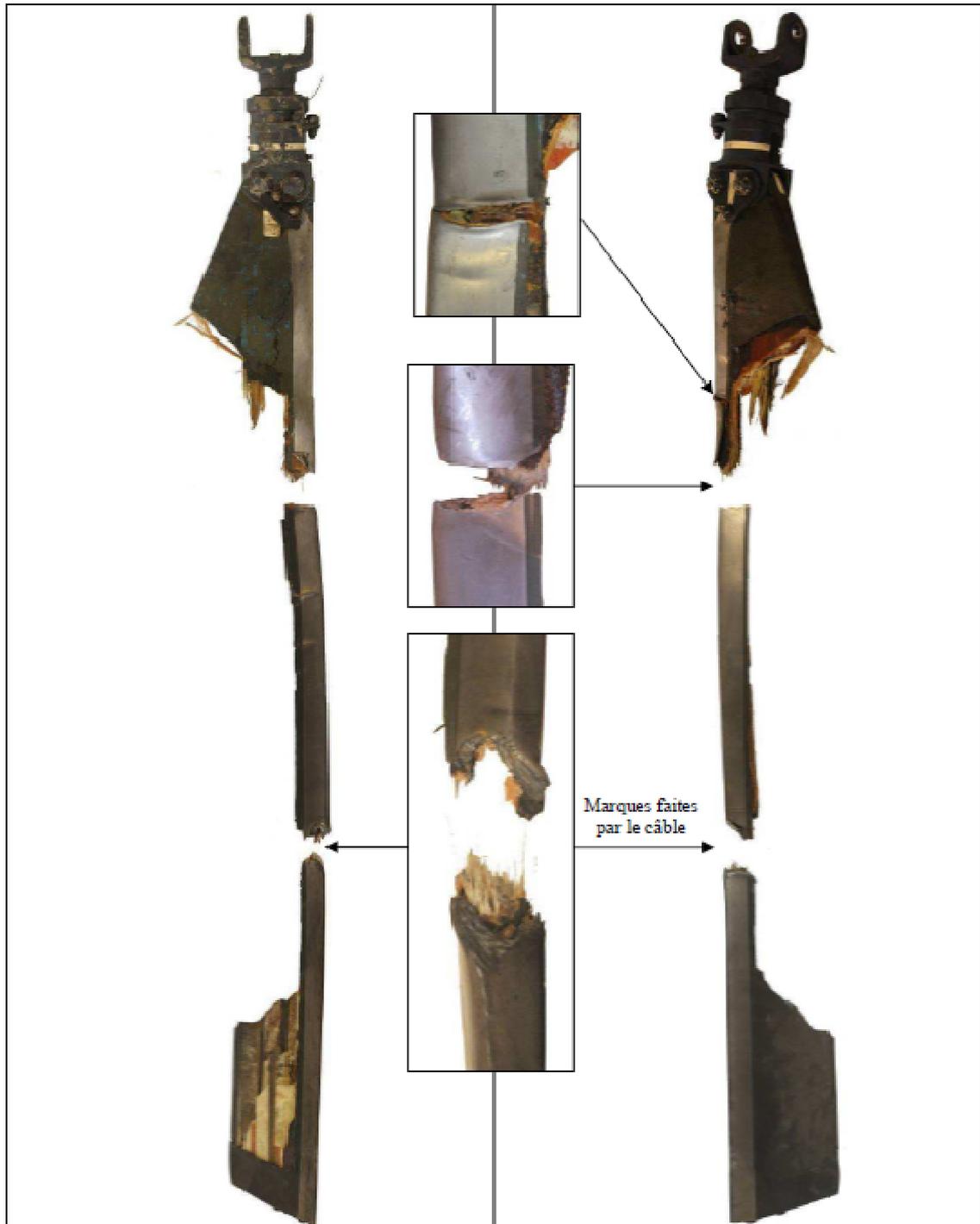
⁸ Message de premières informations n° 389/DEF/BEAD-AIR/CDT/DR du 02 août 2012.

ANNEXES

ANNEXE 1 Reconstitution de la pale blanche du RAC	51
ANNEXE 2 Reconstitution de la pale rouge du RAC.....	52
ANNEXE 3 Reconstitution de la pale noire du RAC.....	53
ANNEXE 4 Déchirure de la platine assouplie	54

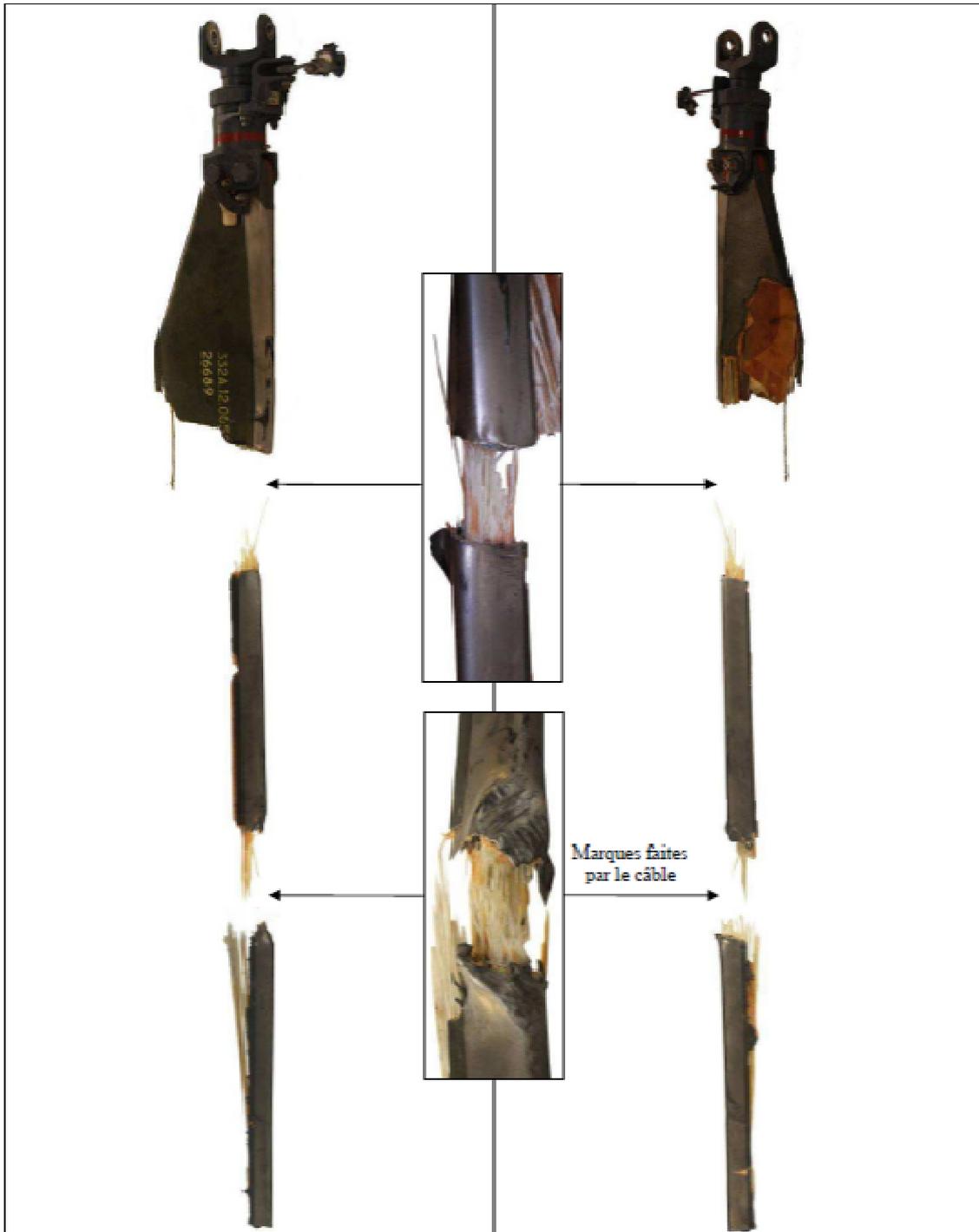
ANNEXE 1

Reconstitution de la pale blanche du RAC



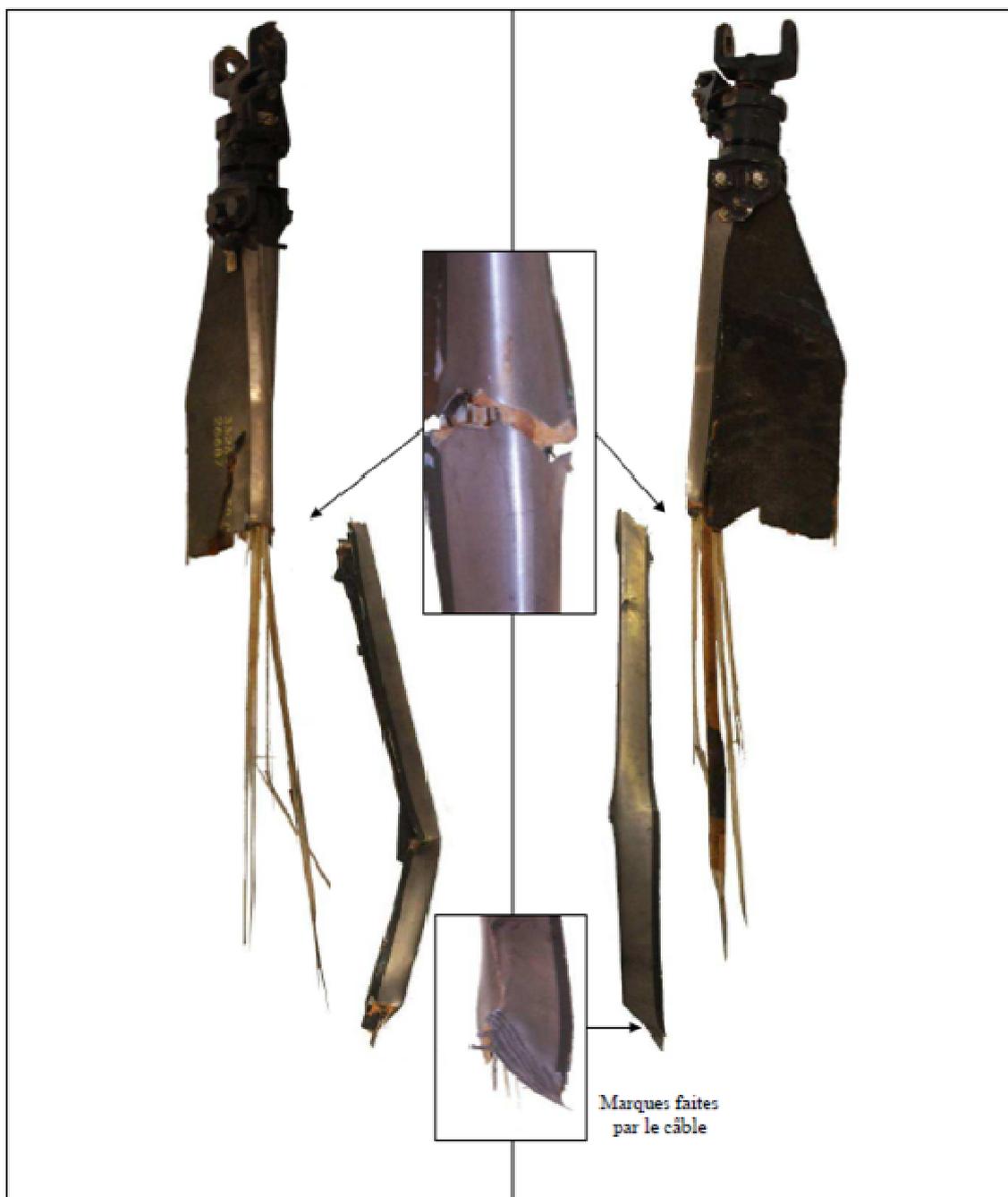
ANNEXE 2

Reconstitution de la pale rouge du RAC



ANNEXE 3

Reconstitution de la pale noire du RAC



ANNEXE 4

Déchirure de la platine assouplie

