

# Bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État

## Rapport d'enquête de sécurité



T-2020-03-A

|                     |                                      |
|---------------------|--------------------------------------|
| Date de l'évènement | 15 avril 2020                        |
| Lieu                | Bouilh-Devant (Pyrénées-Atlantiques) |
| Type d'appareil     | Cougar NG AS332M1e                   |
| Organisme           | Armée de Terre                       |

## AVERTISSEMENT

### UTILISATION DU RAPPORT

Conformément à l'article L.1621-3 du code des transports, 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 aux engagements internationaux de la France, à l'esprit des lois et des règlements et relève de la seule responsabilité de son utilisateur.

### COMPOSITION DU RAPPORT

Les faits, utiles à la compréhension de l'évènement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'identification et l'analyse des causes de l'évènement font l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes retenues.

Le BEA-É formule ses recommandations de sécurité dans le quatrième et dernier chapitre.

Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure légale française.

---

## CRÉDITS

|                  |   |               |
|------------------|---|---------------|
|                  | Cougar de l'armée de Terre par Olivier FOLLEA | Page de garde |
| Figure 1         | Carte aéronautique illustrée par le BEA É     | 8             |
| Figure 2         | Carte Geoportail illustrée par le BEA-É       | 9             |
| Figure 3         | BEA-É   | 9             |
| Figure 4         | Schéma AH illustré par BEA-É                  | 12            |
| Figure 5         | Météo-France                                  | 13            |
| Figure 6         | DGA TA  | 14            |
| Figure 7         | Gendarmerie nationale                         | 15            |
| Figure 8         | BEA-É   | 16            |
| Figures 9 à 11   | Gendarmerie nationale                         | 16 et 17      |
| Figures 12 à 15  | BEA-É   | 18 et 19      |
| Figures 16 à 20  | Airbus Helicopters                            | 23 à 25       |
| Figure 21        | BEA-É   | 26            |
| Figure 22        | Valair.ch                                     | 26            |
| Figure 23        | Armée de Terre                                | 27            |
| Figures 24 et 25 | Airbus Helicopters                            | 30 et 31      |
| Figures 26 et 27 | DGA TA  | 31 et 32      |
| Figures 28 et 29 | Airbus Helicopters                            | 33            |
| Figure 30        | DGA TA  | 34            |
| Figures 31 à 34  | lwiation                                      | 36 à 38       |
| Figures 35 et 36 | BEA-É   | 40            |
| Figure 37        | DGA TA  | 49            |

## TABLE DES MATIÈRES

|  |    |
|--|----|
| GLOSSAIRE .....  | 4  |
| SYNOPSIS.....  | 5  |
| 1. Renseignements de base .....  | 7  |
| 1.1. Déroulement du vol.....   | 7  |
| 1.2. Dommages corporels.....   | 9  |
| 1.3. Dommages à l'aéronef .....  | 9  |
| 1.4. Autres dommages .....   | 10 |
| 1.5. Renseignements sur l'équipage.....                                | 10 |
| 1.6. Renseignements sur l'aéronef .....                                | 11 |
| 1.7. Conditions météorologiques .....                                  | 12 |
| 1.8. Aides à la navigation .....                                       | 14 |
| 1.9. Télécommunications .....  | 14 |
| 1.10. Aéroport .....   | 14 |
| 1.11. Enregistreurs de bord.....                                       | 14 |
| 1.12. Constatations sur l'aéronef et sur la zone de l'accident.....    | 15 |
| 1.13. Renseignements médicaux.....                                     | 19 |
| 1.14. Incendie.....  | 20 |
| 1.15. Questions relatives à la survie des occupants .....              | 21 |
| 1.16. Essais et recherches .....                                       | 21 |
| 1.17. Renseignements sur les organismes.....                           | 22 |
| 1.18. Renseignements supplémentaires et contextuels.....               | 22 |
| 1.19. Hélicoptère Cougar.....  | 22 |
| 1.20. Le vortex.....   | 26 |
| 2. Analyse.....  | 29 |
| 2.1. Expertises techniques.....  | 29 |
| 2.2. Séquence de l'évènement.....                                      | 40 |
| 2.3. Recherche des causes de l'évènement.....                          | 41 |
| 2.4. Éléments de sécurité en lien avec l'évènement .....               | 47 |
| 3. Conclusion .....  | 51 |
| 3.1. Éléments 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 n'ayant pas trait directement à l'évènement .....         | 55 |

## GLOSSAIRE

|                    |  |
|--------------------|--|
| 5 <sup>e</sup> RHC | 5 <sup>e</sup> régiment d'hélicoptères de combat de Pau  |
| ALAT               | Aviation légère de l'armée de Terre  |
| ARCC               | <i>Aeronautical rescue coordination center</i> - centre de coordination des sauvetages aéronautiques |
| BTP                | Boîte de transmission principale   |
| COMALAT            | Commandement de l'aviation légère de l'armée de Terre  |
| CRM                | <i>Cockpit resource management</i> - gestion des ressources du cockpit                               |
| DGA EP             | Direction générale de l'armement - Essais propulseurs  |
| DGA EV             | Direction générale de l'armement - Essais en vol   |
| DGA TA             | Direction générale de l'armement - Techniques aéronautiques  |
| EHM3               | 3 <sup>e</sup> escadrille d'hélicoptères de manœuvre   |
| Ft                 | <i>Feet</i> - pieds, un pied vaut 30,48 cm   |
| GTM                | Groupe turbo moteur  |
| HU                 | Héli-Union   |
| Kt                 | <i>Knots</i> - nœuds, 1 nœud vaut 1,852 km/h   |
| PDQ                | Poutre de queue  |
| PG                 | Pas général  |
| PIL                | Pilote   |
| MO                 | Moniteur pilote chef de bord   |
| MRAD               | Méthode de raisonnement d'approches et décollages  |
| MRP                | Mat rotor principal  |
| MTI                | Division d'investigations suite à accident ou incident de DGA TA                                     |
| MVAVT              | Mécanicien volant d'aéronef à voilure tournante  |
| OACI               | Organisation de l'aviation civile internationale   |
| RAC                | Rotor anticouple   |
| SAR                | <i>Search and rescue</i> - mission « recherche et sauvetage »  |
| SIT-ALAT           | Système d'information terminal de l'aviation légère de l'armée de Terre                              |
| UHF                | <i>Ultra high frequency</i> - ultra haute fréquence  |
| VHF                | <i>Very high frequency</i> - très haute fréquence  |
| Vi                 | Vitesse indiquée   |
| VRPN               | Visite révisonnaire du personnel navigant  |
| Vz                 | Vitesse verticale  |

## SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 15 avril 2020 à 16h14

Lieu de l'évènement : Bouilh-Devant (Pyrénées-Atlantiques)

Organisme : armée de Terre

Commandement organique : commandement de l'aviation légère de l'armée de Terre (COMALAT) - 4<sup>e</sup> brigade d'aérocombat

Régiment : 5<sup>e</sup> régiment d'hélicoptères de combat (5<sup>e</sup> RHC)

Unité : 3<sup>e</sup> escadrille d'hélicoptères de manœuvre (EHM3)

Aéronef : Cougar NG AS332M1e

Nature du vol : vol d'instruction

Nombre de personnes à bord : 7

### Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

Mercredi 15 avril 2020, une séance de qualification opérationnelle de treuillage sur un hélicoptère Cougar du 5<sup>e</sup> régiment d'hélicoptères de combat de Pau est organisée au nord-est de Tarbes.

À 14h43, l'hélicoptère Cougar décolle de sa base avec un moniteur pilote chef de bord (MO), un pilote (PIL), un mécanicien volant d'aéronef à voilure tournante (MVAVT), un moniteur treuilliste, un aide treuilliste, un sauveteur et un militaire hélitreuillé pendant la séance. Après le dernier treuillage, dans le cadre d'un exercice prévu au briefing, le MO simule la conséquence d'une panne électrique en stationnaire. Alors que le moniteur est en train de réduire lentement le pas général (PG), l'aéronef perd de l'altitude, accélère sa chute et s'écrase verticalement dans un champ au nord de la commune de Bouilh-Devant. Il prend feu dans la minute.

On dénombre deux décès, trois blessés graves et deux blessés légers. L'hélicoptère est détruit.

### Composition du groupe d'enquête de sécurité

- un directeur d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État (BEA-É) ;
- un directeur d'enquête de sécurité adjoint (BEA-É) ;
- un enquêteur de première information ;
- un pilote ayant une expertise sur Cougar ;
- un pilote d'essai ayant une expertise sur Cougar ;
- un mécanicien ayant une expertise sur Cougar ;
- un médecin breveté supérieur de médecine aéronautique.

### Autres experts consultés

- direction générale de l'armement - Essais propulseurs (DGA EP)/restitution des enregistreurs d'accidents (RESEDA) ;
- direction générale de l'armement - Techniques aéronautiques (DGA TA)/division d'investigations suite à accident ou incident (MTI) ;
- direction générale de l'armement - Essais en vol (DGA EV) ;
- Météo-France ;
- Iwiation GmbH ;
- Airbus Helicopters.

PAS DE TEXTE

## 1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

### 1.1. Déroulement du vol

#### 1.1.1. Mission

Type de vol : circulation aérienne militaire en vol à vue (CAM V)

Type de mission : séance d’instruction

Dernier point de départ : aéroport de Pau-Pyrénées (LFBP)

Heure de départ : 14h43

Point d’atterrissage prévu : aéroport de Pau-Pyrénées (LFBP)

#### 1.1.2. Déroulement

##### 1.1.2.1. Préparation du vol

Le vol est une séance d’instruction dans le cadre de la « qualification opérationnelle » sur hélicoptère Cougar de l’ALAT. Cette formation a pour objectif d’enseigner les techniques aux missions opérationnelles sur les hélicoptères de manœuvre.

L’équipage de conduite est composé d’un MO, d’un PIL et d’un MVAVT. Un moniteur treuilliste, un aide treuilliste, un sauveteur et un militaire hélitreuillé complètent l’équipage du Cougar. Le militaire hélitreuillé prévu initialement sur les ordres de vol est remplacé peu de temps avant le briefing par le secrétaire de l’unité. La séance du jour est consacrée à la découverte de l’hélitreuillage qui n’a jamais été pratiqué auparavant par le PIL. Le MO présente le programme de la matinée à l’occasion du briefing du vol. Le programme présenté comprend une navigation vers le VOR<sup>1</sup> de Tarbes, puis un entraînement au treuillage dans le secteur est, près de Lannemezan. La météo est annoncée compatible avec la mission d’instruction avec un vent calme de secteur est, une visibilité de plus de 10 kilomètres (km) et un plafond des nuages au-dessus de 5 000 pieds (ft). Le briefing réalisé par le MO est très détaillé. Tous les exercices prévus pour la séance sont passés en revue et expliqués. Le MO a construit la séance selon un programme à la difficulté progressive. Les exercices de treuillage sont prévus dans différents lieux avec les configurations suivantes : sauveteur seul ; sauveteur et militaire treuillé ; gueuse<sup>2</sup> pour les lieux délicats. Les modes de pilotage seront également travaillés avec des stationnaires en mode manuel et des stationnaires avec les modes supérieurs du pilote automatique enclenchés. Le MO a également prévu la présentation de cas non conformes que l’on peut retrouver durant un treuillage. Ces différents cas vont de la panne du circuit hydraulique à la panne moteur. Un exercice d’entraînement à la procédure de panne des deux alternateurs clôturera la séance d’instruction.

##### 1.1.2.2. Description du vol et des éléments qui ont conduit à l’évènement

Le Cougar décolle de l’aérodrome de Pau-Pyrénées à 14h43 et navigue directement vers le VOR de Tarbes. À l’arrivée sur zone, le vol est réalisé en suivant un parcours bien connu du MO.

La séance d’entraînement à l’hélitreuillage commence par des exercices réalisés en pilotage manuel. Le MO demande à son PIL des réalisations dynamiques de plus en plus précises. Après cette série d’exercices, axée sur le pilotage, le MO veut mettre son PIL dans une ambiance tactique d’opération où le pilote se consacre davantage à sa mission. Il demande au PIL de réaliser les treuillages en utilisant les modes supérieurs du pilote automatique. Dans ces modes, le stationnaire est tenu par le système, ce qui allège la charge cognitive du pilote.

Ainsi, pendant environ une heure et demie, l’équipage exécute les différents exercices prévus au briefing. Avant le dernier treuillage de la journée, le Cougar réalise une dernière méthode de raisonnement d’approches et décollages (MRAD) au-dessus de Bouilh-Devant pour s’assurer des conditions de sécurité de la zone. Cette manœuvre confirme un vent négligeable. Le PIL réalise alors un exercice de treuillage au-dessus d’une route forestière au milieu d’une forêt dans un talweg.

---

<sup>1</sup> VOR : *VHF omnidirectional range*, système de positionnement radioélectrique.

<sup>2</sup> Sac de sable de 25 kilogrammes simulant la masse d’une personne au bout du treuil.



Figure 1 : trajectoire du vol

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

Après un dernier treuillage de la gueuse, réalisé avec le mode supérieur du pilote automatique engagé, le MO désigne au PIL le champ, face à eux, dans la direction nord-est où ils réaliseront le dernier exercice du vol. Ce champ qui vient d'être labouré est bien reconnaissable et une haie d'arbres longe son côté droit, au bord d'une rivière. Le MO annonce qu'il va simuler, après la mise en stationnaire de l'hélicoptère, les conséquences de la panne des deux alternateurs qui réduit les régimes moteurs en les limitant à 85%. Cet exercice conduit à une perte de la puissance disponible du groupe propulsif. Le MO veut montrer que dans ces conditions, le stationnaire n'est pas maintenable par le Cougar. L'hélicoptère doit reprendre une vitesse horizontale pour garder sa hauteur.

En mode manuel aux commandes, le PIL, suivant les instructions de son moniteur, positionne l'hélicoptère pour un stationnaire à une hauteur de 300 ft au milieu du champ désigné. Pendant la réduction de vitesse, le MO prévient le PIL de la réalisation de l'exercice et baisse le PG. Tout en surveillant le taux de chute, le MO réduit doucement le régime des moteurs qui sont autour de 97% à cet instant. Immédiatement, le régime tombe à 93 ou 94% et l'hélicoptère perd de l'altitude. Il accélère sa chute jusqu'à tomber verticalement dans le champ. Au moment de l'impact, le couple du rotor principal provoque une rotation franche de la cellule dans le sens antihoraire. Puis, l'hélicoptère s'immobilise en se couchant sur son flanc droit. Il prend feu dans la minute.

### 1.1.3. Localisation

– Lieu :

- pays : France
- département : Pyrénées-Atlantiques (64)
- commune : Bouilh-Devant
- coordonnées géographiques : N 43° 20' 25" / E 000° 15' 34"
- hauteur de l'hélicoptère au moment de l'évènement : 300 ft

– Moment : jour

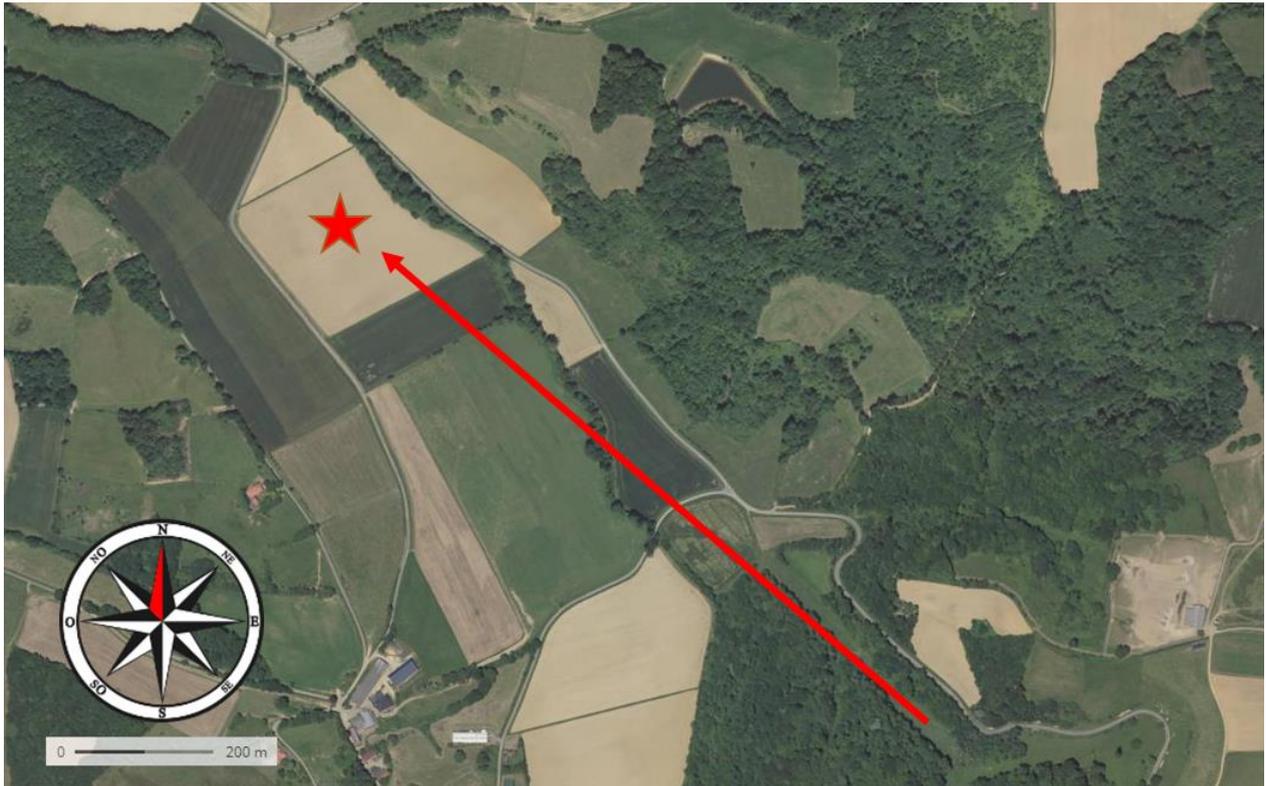


Figure 2 : trajectoire finale

### 1.2. Dommages corporels

| Blessures | Membres d'équipage de conduite | Autres membres de l'équipage |
|-----------|--------------------------------|------------------------------|
| Mortelles | /                              | 2                            |
| Graves    | 1                              | 2                            |
| Légères   | 2                              | /                            |

### 1.3. Dommages à l'aéronef

Le Cougar est entièrement détruit. On retrouve des débris et des équipements dans un cercle de 70 mètres de diamètre autour de l'épave principale.



Figure 3 : épave du Cougar

## 1.4. Autres dommages

Le champ a dû être dépollué après l'accident.

## 1.5. Renseignements sur l'équipage

### 1.5.1. Membres d'équipage de conduite

#### 1.5.1.1. Moniteur chef de bord

- Âge : 39 ans
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC
- Fonction dans l'unité : moniteur Cougar à l'EHM3, référent Cougar, commandant d'escadrille par suppléance
- Formation : EALAT Dax et EALAT Le Luc
  - année de sortie d'école : 2002
  - école de spécialisation : EALAT
  - qualification : moniteur depuis le 4 mars 2020
- Heures de vol comme pilote :

|           | Total         |             | Dans le semestre écoulé |             | Dans les 30 derniers jours |             |
|-----------|---------------|-------------|-------------------------|-------------|----------------------------|-------------|
|           | sur tout type | dont Cougar | sur tout type           | dont Cougar | sur tout type              | dont Cougar |
| Total (h) | 3 251         | 2 060       | 176                     | 176         | 35                         | 35          |

- Date du précédent vol sur Cougar : 14 avril 2020

#### 1.5.1.2. Pilote

- Âge : 26 ans
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC
- Fonction dans l'unité : pilote à l'EHM3
- Formation : EALAT Dax et EALAT Le Luc
  - année de sortie d'école : 2018
  - école de spécialisation : EALAT
  - qualification : pilote opérationnel Cougar depuis le 24 mars 2020
- Heures de vol comme pilote :

|           | Total         |             | Dans le semestre écoulé |             | Dans les 30 derniers jours |             |
|-----------|---------------|-------------|-------------------------|-------------|----------------------------|-------------|
|           | sur tout type | dont Cougar | sur tout type           | dont Cougar | sur tout type              | dont Cougar |
| Total (h) | 592           | 77          | 139                     | 77          | 28                         | 28          |

- Date du précédent vol sur Cougar : 14 avril 2020

#### 1.5.1.3. MVAVT

- Âge : 36 ans
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC
- Fonction dans l'unité : MVAVT à l'EHM3
- Formation : MVAVT EM Bourges, Airbus Helicopters Training Services et EALAT Le Luc
  - qualification : MVAVT Cougar
- Heures de vol comme MVAVT :

|           | Total         |             | Dans le semestre écoulé |             | Dans les 30 derniers jours |             |
|-----------|---------------|-------------|-------------------------|-------------|----------------------------|-------------|
|           | sur tout type | dont Cougar | sur tout type           | dont Cougar | sur tout type              | dont Cougar |
| Total (h) | 870           | 399         | 161                     | 161         | 29                         | 29          |

- Date du précédent vol sur Cougar : 14 avril 2020

## 1.5.2. Autres membres d'équipage

### 1.5.2.1. Moniteur treuilliste

- Âge : 47 ans
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC
- Fonction dans l'unité : MVAVT à l'EHM3

### 1.5.2.2. Aide treuilliste

- Âge : 38 ans
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC
- Fonction dans l'unité : membre opérationnel de soute à l'EHM3

### 1.5.2.3. Sauveteur ALAT

- Âge : 38 ans
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC
- Fonction dans l'unité : chef de section membre opérationnel de soute à l'EHM3

### 1.5.2.4. Militaire hélitreuillé

- Âge : 25 ans
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC
- Fonction dans l'unité : secrétaire à l'EHM3

## 1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de Terre
- Entretenu par la société Héli-Union par un contrat de maintenance à l'heure de vol
- Commandement d'appartenance : COMALAT
- Aérodrome de stationnement : aéroport de Pau-Pyrénées (LFBP)
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC/EHM3
- Type d'aéronef : Cougar NG AS332M1e

|         | Type-série | Numéro | Heures de vol totales | Heures de vol depuis RG <sup>3</sup> | Heures de vol depuis VP <sup>4</sup> |
|---------|------------|--------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Cellule | AS332M1e   | 2336   | 4 646                 | 966                                  | 471                                  |
| Moteur  | MAKILA 1A1 | 2284   | 3 341                 | 870                                  | 471                                  |
| Moteur  | MAKILA 1A1 | 2340   | 3 190                 | 1 010                                | 471                                  |

- Date de mise en service : 17 février 1991
- Date dernière GV<sup>5</sup> : 24 avril 2013
- Prochaine GV (7 500 h/15 ans) : 24 avril 2028
- Dernière VP cellule : 8 février 2018
- Prochaine VP : 3 juillet 2020

### 1.6.1. Maintenance

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

### 1.6.2. Navigabilité

Le certificat d'examen de navigabilité délivré le 28 septembre 2018 est valable jusqu'au 27 septembre 2020. L'examen de la documentation de navigabilité de l'aéronef est conforme. L'aéronef est navigable.

### 1.6.3. Performances

L'aéronef ne fait l'objet d'aucune restriction d'emploi et les performances sont dans les normes.

<sup>3</sup> RG : révision générale.

<sup>4</sup> VP : visite périodique.

<sup>5</sup> GV : grande visite.

#### 1.6.4. Masse et centrage

La masse et le centrage sont conformes :

- la masse de l'appareil estimée au moment de l'accident est de 7,218 tonnes pour une masse maximale de 9 tonnes ;
- le centrage est calculé à 4,58 mètres (m) pour une limite de 4,41 m en centrage avant.

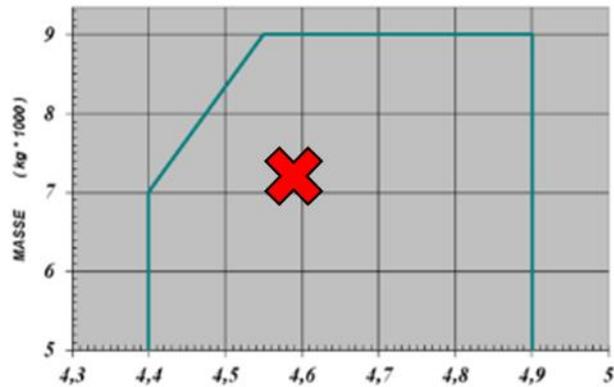


Figure 4 : centrage du Cougar

#### 1.6.5. Carburant

- Type de carburant utilisé : JET A-1
- Quantité au décollage de Pau : 1 510 kg
- Quantité estimée au moment de l'évènement : 760 kg

#### 1.6.6. Autres fluides

- Fluide de lubrification moteur et ensembles tournants : huile 0-156
- Fluide hydraulique : H-537
- Point éclair : 250 °C
- Température d'auto-inflammation : 380 °C

### 1.7. Conditions météorologiques

#### 1.7.1. Prévisions

La météo du jour est annoncée comme étant très favorable à Pau avec un ciel peu nuageux jusqu'à 16h30 et un plafond au-delà de 5 000 ft. La visibilité est supérieure à 10 km. Un risque orageux est prévu après 17h00 avec un éventuel développement de nuages convectifs vers 6 000 ft. Le vent est attendu faible, inférieur à 5 kt. La carte AROME de Météo-France prévoyait à 16h00 heure locale un vent d'est sur le lieu de l'accident au niveau du sol.



Figure 5 : cartes AROME des vents

### 1.7.2. Observations

La situation météorologique observée le jour de l'accident est conforme aux éléments prévus. Les conditions sont bonnes au moment de l'accident. Au moment du décollage de Pau, le vent vient du nord-est (030°) avec une force de 4 kt. Les observations de l'aéroport de Tarbes à 16h30 donnent un vent variable faible de 3 kt, venant de l'est. Pour le site de Bouilh-Devant, Météo-France a transmis une estimation des vents sans pouvoir prendre en compte l'effet des collines proches. La vitesse du vent au moment de l'accident est estimée entre 5 kt et 10 kt venant du secteur 100°.

### 1.8. Aides à la navigation

Le Cougar NG est équipé de plusieurs systèmes de radionavigation. Un SIT-ALAT (système d'information terminal de l'aviation légère de l'armée de Terre) permet un affichage numérique de la cartographie. Il apporte à l'équipage la connaissance de la situation tactique afin de faciliter l'accomplissement de la mission. Il enregistre également le téléphone de bord, la trace GPS et quelques éléments de vol.

### 1.9. Télécommunications

Le Cougar NG est équipé des postes de radiocommunications suivants :

- 1 poste V/UHF (*very/ultra high frequency*) ;
- 1 poste VHF ;
- 1 poste radio de 4<sup>e</sup> génération ;
- 1 poste HF BLU (haute fréquence bande latérale unique) ;
- 1 poste *personal locator system* (système de localisation personnel) qui permet une émission et une écoute en UHF à courte portée.

Le Cougar NG est aussi équipé d'un transpondeur avec modes civil et militaire.

Au moment de l'évènement, le Cougar veille la fréquence de sécurité et la fréquence d'auto-information.

### 1.10. Aéroport

L'aéroport international de Pau-Pyrénées est situé dans la commune d'Uzein, à 7 km au nord-ouest de Pau. Il est équipé d'une piste de 2 500 mètres de long et 45 mètres de large. Sa zone d'activité Aérople concentre près de 500 entreprises autour de l'aéroport et accueille les hangars de Héli-Union, la société en charge de la maintenance des Cougar de l'EHM3.

Le 5<sup>e</sup> RHC est basé au sud de la piste ainsi que le 4<sup>e</sup> régiment d'hélicoptères des forces spéciales.

### 1.11. Enregistreurs de bord

Le Cougar accidenté n'est pas équipé d'enregistreur de paramètres ni d'enregistreur de voix. Bien que le SIT-ALAT sauvegarde la position GPS de l'hélicoptère sur un disque dur en temps réel, cet équipement n'est pas de conception anti-crash, ni anti-feu. Il a été retrouvé sous la bâche hydraulique et a été entièrement brûlé durant l'accident. Son exploitation n'est pas possible.



Figure 6 : SIT-ALAT

## 1.12. Constatations sur l'aéronef et sur la zone de l'accident

### 1.12.1. Examen de la zone de l'accident

L'environnement de l'accident est une zone agricole vallonnée présentant quelques collines de faibles hauteurs. La zone d'impact est un champ fraîchement labouré avec des sillons relativement hauts et de consistance meuble, présentant un dévers, côté nord/nord-est. Située au nord de la commune de Bouilh-Devant, elle est délimitée au nord-est par un ruisseau arboré et à l'ouest par une route communale.



Figure 7 : vue aérienne de la zone de l'accident

### 1.12.2. Examen de l'aéronef

Le Cougar est détruit. Une partie de la structure de l'hélicoptère et quelques équipements ont été projetés par la force centrifuge jusqu'à 70 mètres à partir du point d'impact (item C de la figure 9). La structure principale a complètement brûlé (figure 7). Elle est orientée vers le nord, couchée sur le flanc droit. La poutre de queue (PDQ) est relativement préservée (item 6 de la figure 9). Cet élément de la structure arrière s'est désolidarisé de la cellule principale suite à la rupture du cadre 9000. La PDQ se retrouve à 10 mètres au nord de cellule. De nombreux débris des pales du rotor principal jonchent le sol tout autour de l'épave.

### 1.12.2.1. Identification des débris de l'épave

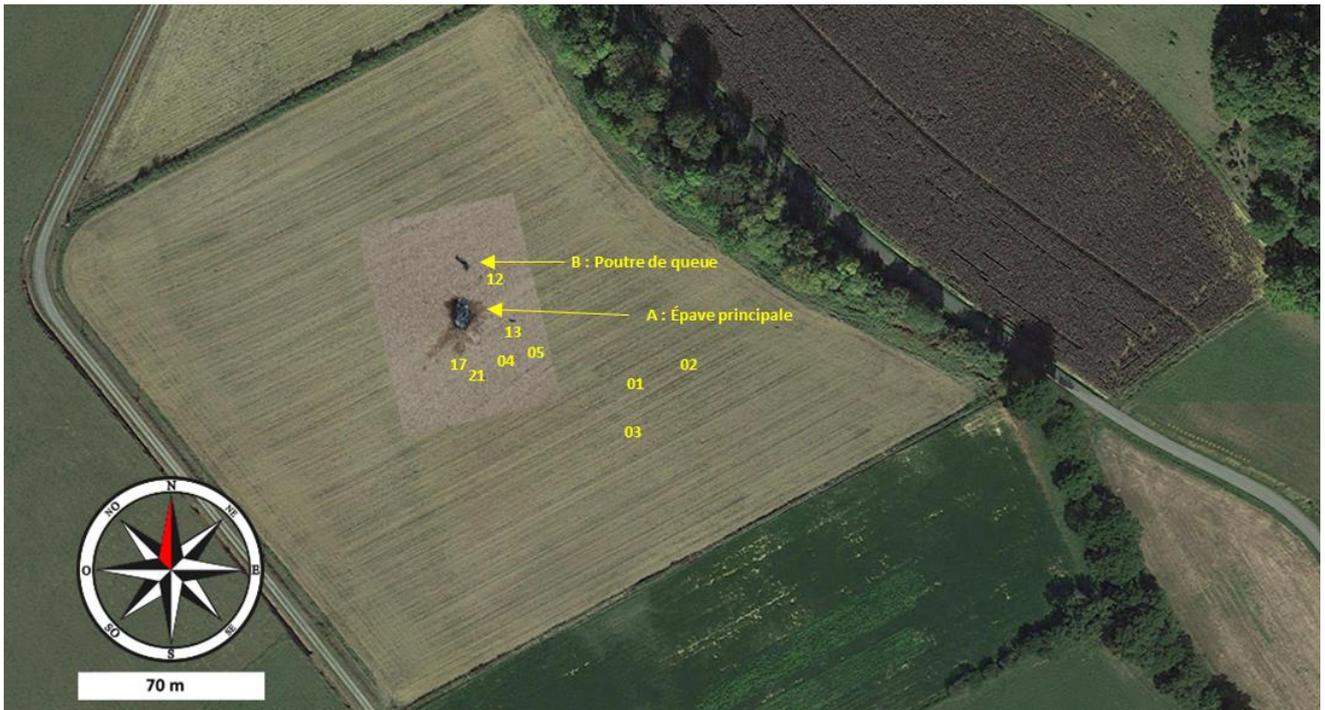


Figure 8 : vue aérienne



Figure 9 : épave et principaux débris

|    |  |
|----|--|
| A  | Structure principale                               |
| B  | PDQ  |
| C  | Impact au sol : terre tassée                       |
| 01 | 2 <sup>e</sup> partie échelle                      |
| 02 | Pantalon de treillis brûlé                         |
| 03 | Boîtier antenne GPS                                |
| 04 | Morceau cadre 9000                                 |
| 05 | Casque Alpha                                       |
| 06 | Béquille + rotor PDQ                               |
| 07 | Échelle encastrée dans une pale principale         |
| 08 | Tronçon arbre de transmission                      |
| 09 | Cadre 9000 PDQ                                     |
| 10 | Morceaux de pale du RAC                            |
| 11 | Morceaux de pale principale                        |
| 12 | Trappe arrière                                     |
| 13 | Débris de capot coulissant BTP                     |
| 14 | Coupole (Sommet du mat rotor principal)            |
| 15 | Avant Cougar : Radome et support FLIR <sup>6</sup> |
| 16 | Capot coulissant entrée d'air                      |
| 17 | Balconnet  |
| 18 | Groupe turbo moteur (GTM)                          |
| 19 | Atterrisseur                                       |
| 20 | Pale du rotor principal                            |
| 21 | Arbre de transmission                              |
| 22 | Antenne V/UHF                                      |

<sup>6</sup> FLIR : le boîtier électronique de la société FLIR qui est le cœur système de l'optronique du Cougar NG.

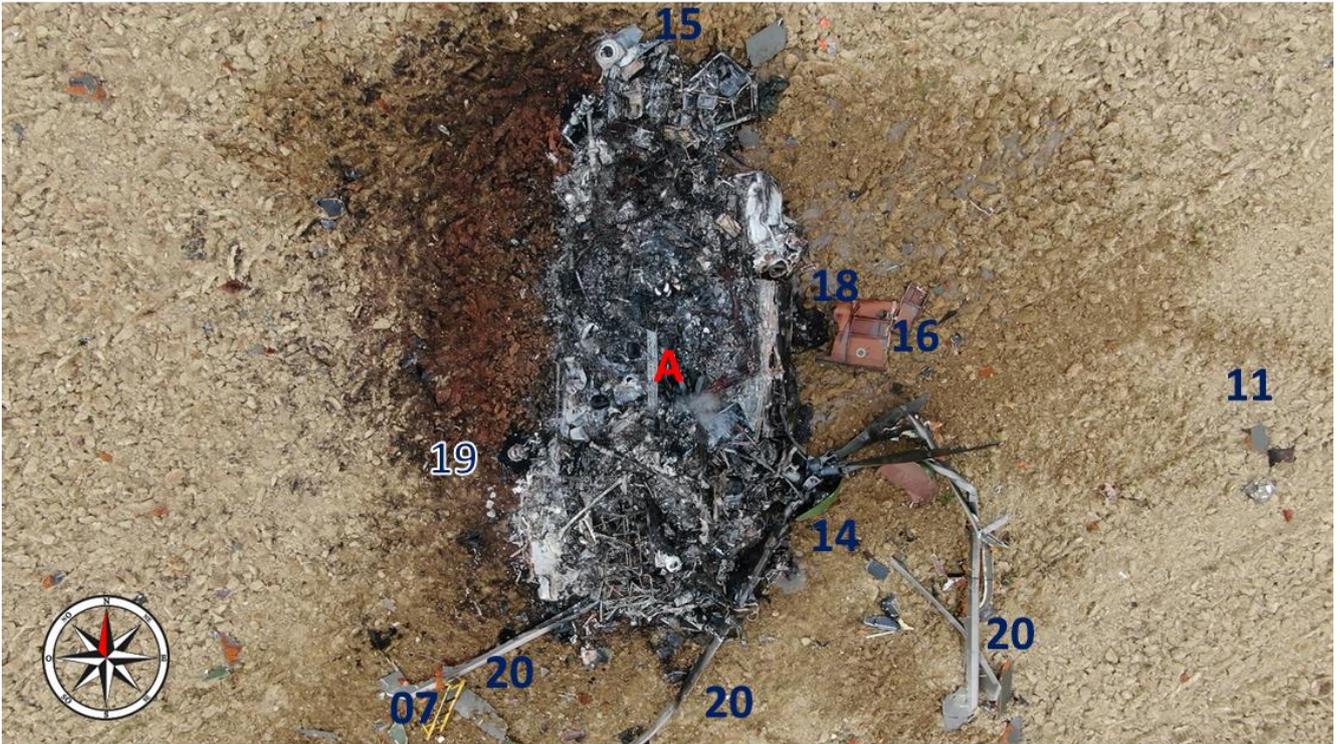


Figure 10 : structure principale



Figure 11 : PDQ et impacts au sol (cerclés de rouge)

### 1.12.2.2. Premières constatations

#### 1.12.2.2.1. Balise de détresse

La balise de détresse a été retrouvée en bon état. Sa liaison filaire avec l'antenne d'émission a été rompue au moment de l'accident. Aucune émission de cette balise n'a été détectée par l'ARCC<sup>7</sup> durant l'intervention.



Figure 12 : balise de détresse

#### 1.12.2.2.2. Servocommande du rotor principal

Les trois servocommandes du rotor principal sont endommagées de façon similaire : déformation de l'étrier avec le piston sorti.



Figure 13 : tête du rotor principal

<sup>7</sup> ARCC : l'*Aeronautical Rescue Coordination Center* est un organisme de l'armée de l'Air et de l'Espace responsable de la coordination des sauvetages aéronautiques français.

### 1.12.2.2.3. Plancher mécanique

Le plancher mécanique est déformé au niveau des supports « moteur » (cercles rouges sur la figure 14). Ces supports ont traversé le plancher et la barre BTP (figure 15) qui leur est liée, est arrachée.



Figure 14 : plancher mécanique



Figure 15 : barre BTP

## 1.13. Renseignements médicaux

### 1.13.1. Membres d'équipage de conduite

#### 1.13.1.1. Moniteur chef de bord

- Dernier examen médical :
  - type : visite révisionnelle du personnel navigant (VRPN)
  - date : 11 décembre 2019
  - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : légères

#### 1.13.2. Pilote

- Dernier examen médical :
  - type : VRPN
  - date : 27 février 2020
  - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : graves

#### 1.13.3. MVAVT

- Dernier examen médical :
  - type : VRPN
  - date : 14 novembre 2019
  - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : légères

#### 1.13.4. Autres membres d'équipage

##### 1.13.4.1. Moniteur treuilliste

- Dernier examen médical :
  - type : VRPN
  - date : 25 février 2020
  - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : graves

##### 1.13.4.2. Aide treuilliste

- Dernier examen médical :
  - type : visite médicale périodique (VMP)
  - date : 6 mars 2019
  - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : graves

##### 1.13.4.3. Sauveteur ALAT

- Dernier examen médical :
  - type : VMP
  - date : 13 février 2019
  - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : mortelles consécutives à l'incendie

##### 1.13.4.4. Militaire hélitreuillé

- Dernier examen médical :
  - type : VMP
  - date : 5 mars 2019
  - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : mortelles consécutives à l'incendie

### 1.14. Incendie

Après l'impact et l'immobilisation au sol de la structure principale, un nuage de poussière enveloppe l'hélicoptère et s'élève au-dessus du champ. Le feu démarre peu de temps après, dans la minute. Des fumées très noires se superposent aux fumées blanches du début de l'incendie. La structure principale prend feu et des explosions sont entendues par les témoins. La cellule est entièrement détruite par les flammes.

## 1.15. Questions relatives à la survie des occupants

### 1.15.1. Évacuation de l'aéronef

La cellule du Cougar s'est renversée sur le flanc droit puis s'est immobilisée. Le choc a été violent et l'équipage reste choqué pendant quelques instants. Malgré ses blessures graves et dans la confusion, l'aide treuilliste rampe sous les fumées et dans les flammes naissantes. Il est le premier à sortir de l'hélicoptère par l'arrière de la cellule principale. Il s'extrait par une ouverture créée par la rupture du cadre 9000 et la perte de la structure arrière. Il s'éloigne de l'hélicoptère en laissant en chemin son casque et sa veste. Puis il tente alors d'enlever son pantalon de treillis en feu.

En parallèle, le MO reprend ses esprits et sort par la porte gauche en l'éjectant. Une fois à l'extérieur, il lui faut quelques instants pour réaliser les événements. Au même moment, le moniteur treuilliste, avec plusieurs côtes cassées, expulse le premier hublot du côté gauche et effectue une traction pour sortir. Il aperçoit le MO et l'aide treuilliste en détresse. Du haut de l'aéronef renversé, il saute dans le champ et rejoint le MO. Ensemble, ils retournent dans le cockpit pour récupérer le PIL et le MVAVT. Dès que le MVAVT est extrait, le moniteur treuilliste va rejoindre l'aide treuilliste en détresse et l'aide à retirer son pantalon en feu. Cependant, les blessures du moniteur treuilliste deviennent rapidement incapacitantes. Avec l'aide du MO, le PIL s'extrait enfin du cockpit et aperçoit l'aide treuilliste toujours en feu. C'est à ce moment que des témoins arrivent sur zone et convainquent l'équipage de s'éloigner de la cellule qui commence à être totalement envahie par les flammes. Le pilote rejoint l'aide treuilliste toujours en détresse et finit d'éteindre les dernières flammes qui recouvrent encore une partie de son corps.

Le sauveteur et le militaire hélitreuillé n'ont pu être extraits de la structure en raison de la très rapide propagation de l'incendie et de leurs blessures initiales.

### 1.15.2. Organisation des secours

La brigade de gendarmerie est informée par les nombreux témoins de l'accident d'un hélicoptère sur la commune de Bouilh-Devant. L'emplacement exact est rapidement confirmé et les secours sont prévenus. Vers 16h30, la gendarmerie, le SAMU<sup>8</sup> et le SDIS<sup>9</sup> sont engagés par voie terrestre et aérienne. À 16h35, la brigade de gendarmerie appelle l'ARCC pour rendre compte de l'accident et des moyens engagés. L'ARCC n'a pas reçu de signaux de détresse de l'hélicoptère et prend connaissance de l'évènement. Vers 16h45, l'ARCC contacte le 5<sup>e</sup> RHC pour s'informer de la situation de ses aéronefs. Rapidement, le régiment confirme qu'un hélicoptère est manquant. Un hélicoptère Caracal appartenant au 4<sup>e</sup> RHFS<sup>10</sup> se rend sur zone. Vers 16h45, les véhicules de pompiers arrivent sur le site et éteignent l'incendie qui a déjà détruit toute la cellule du Cougar. L'ARCC déclenche une opération SAR<sup>11</sup> à 16h56 et engage un Caracal d'alerte de l'armée de l'Air et de l'Espace.

L'équipe médicale du SAMU coordonne l'évacuation des cinq blessés. Les deux blessés graves en urgence absolue sont évacués par voie aérienne par les hélicoptères du SAMU et de la sécurité civile. Les autres blessés sont transportés vers 18h50 à l'hôpital de Tarbes par ambulance.

## 1.16. Essais et recherches

L'expertise de l'épave a été réalisée par DGA TA/MTI.

L'expertise des fluides et du groupe turbo moteur a été réalisée par DGA EP.

La reconstitution de la trajectoire a été réalisée par Iwiation GmbH.

L'expertise de la mécanique du vol a été réalisée par DGA EV.

L'analyse des facteurs organisationnels et humains a été réalisée par le BEA-É.

La reconstitution de l'évènement sur simulateur de vol a été réalisée chez Helisim avec Arbus Helicopters.

---

<sup>8</sup> SAMU : service d'aide médicale d'urgence.

<sup>9</sup> SDIS : service départemental d'incendie et de secours.

<sup>10</sup> RHFS : régiment d'hélicoptères des forces spéciales.

<sup>11</sup> SAR : *Search and rescue* - mission « recherche et sauvetage ».

## 1.17. Renseignements sur les organismes

### 1.17.1. 5<sup>e</sup> RHC et EHM3

Le 5<sup>e</sup> régiment d'hélicoptères de combat est une unité de l'ALAT basée sur l'aéroport de Pau dans les Pyrénées-Atlantiques. Il fait partie de la 4<sup>e</sup> brigade d'aérocombat de l'ALAT. Les missions du régiment combinent le renseignement, l'intervention armée, la manœuvre et le transport de tous les types de troupes. L'EHM3 est l'escadrille des hélicoptères Cougar. Elle est principalement engagée en opérations extérieures. Une relève des équipages en missions extérieures prévue en mars 2020 a été repoussée à cause de la pandémie de la Covid-19. Le MO devait faire partie de cette relève.

L'EHM3 est encore marqué par l'évènement aérien du 25 novembre 2019 impliquant des personnels de l'unité. Cela a entraîné des perturbations organisationnelles dans le fonctionnement de l'unité.

### 1.17.2. Héli-Union

Depuis le 16 décembre 2019, le soutien opérationnel de la flotte Cougar de l'EHM3 est progressivement externalisé via le contrat hélicoptères lourds et de manœuvre notifié avec deux cotitulaires : Airbus Helicopters et la société Héli-Union (HU).

HU est une entreprise de taille intermédiaire française aux activités liées à l'hélicoptère. Le nombre d'aéronefs soutenus est passé d'un hélicoptère en décembre 2019 à trois au moment de l'accident. Il est prévu que l'atelier HU réalise à terme l'ensemble des opérations de mise en œuvre de cinq hélicoptères Cougar des régiments ALAT de Pau.

L'externalisation du soutien des Cougar a été bien accueillie par l'escadrille et le taux de disponibilité s'est amélioré.

### 1.17.3. L'ARCC de Lyon

La mission « recherche et sauvetage » (en anglais « *search and rescue* » - SAR) est chargée de l'organisation et des opérations de localisation et de secours des occupants d'aéronefs ou de navires en détresse, sur terre (sauvetage aéroterrestre - SATER) et sur mer (sauvetage aéromaritime - SAMER). La mise en œuvre des missions SAR du domaine aéronautique est décrite dans l'annexe 12 de la convention de Chicago de l'OACI et dans l'annexe 10 en ce qui concerne l'emploi des fréquences radio. Une fréquence auxiliaire SAR est définie sur 123,1 MHz dans le tableau d'allotissement des fréquences pour faciliter les échanges entre les aéronefs et la coordination tridimensionnelle sur la zone.

Par le décret n° 2014-1253 du 27 octobre 2014, les missions SATER sont confiées au centre de coordination des sauvetages aéronautiques (en anglais « *aeronautical rescue coordination center* » - ARCC) basé sur la base aéronautique de Lyon-Mont Verdun.

## 1.18. Renseignements supplémentaires et contextuels

### 1.18.1. Contexte Covid-19

Le 17 mars 2020, la France est entrée en confinement généralisé pour faire face à la pandémie de la Covid-19. Cette situation inédite a fortement impacté l'organisation du 5<sup>e</sup> RHC. Un plan de continuité d'activité a été mis en place avec l'objectif de réduire les effectifs présents physiquement au régiment en dessous de 50%. Le MO qui assurait le commandement par suppléance de l'escadrille à ce moment a décliné ce plan en mettant en place un fonctionnement en bordées d'une semaine. Chaque semaine, la moitié des équipages de l'EHM3 alternait au service. L'annulation des missions non essentielles ou extérieures au régiment a permis de recentrer l'activité de l'escadrille sur la formation des pilotes et en particulier des plus jeunes. Avec la qualification en mars du MO en tant que moniteur, l'escadrille peut s'appuyer sur deux moniteurs pour les vols d'instruction.

## 1.19. Hélicoptère Cougar

L'AS332M1e Cougar NG est un hélicoptère de manœuvre et d'assaut biturbine fabriqué par Airbus Helicopters. Cet hélicoptère est une version améliorée du SA330 Puma dont il est le successeur. Il est entré en service dans l'armée de Terre à partir de 1988 et sort actuellement d'un chantier de mise à niveau qui a rénové son système avionique embarqué.

La mission principale des hélicoptères Cougar est le transport tactique de militaires sur les terrains de guerre (capacité 20 personnes), de jour comme de nuit. D'autres missions sont le transport de matériel et le secours aux civils dans des zones peu accessibles par la route.

#### 1.19.1. Cougar NG

Un marché de modernisation des hélicoptères Cougar de l'armée de Terre et de l'armée de l'Air et de l'Espace a été contractualisé par la DGA en 2010 pour prolonger ses aptitudes opérationnelles :

- en rénovant l'avionique pour la mettre en conformité avec l'évolution de la réglementation de la circulation aérienne générale ;
- en modernisant le système d'autoprotection ;
- en intégrant le SIT-ALAT.

En 2015, un avenant a modifié le contrat pour ajouter le développement et l'acquisition d'enregistreurs de vol (paramètres et voix) pour tous les hélicoptères Cougar rénovés. Il est ainsi prévu d'équiper de CVFDR<sup>12</sup> tous les hélicoptères Cougar des Armées françaises.

##### 1.19.1.1. Système de bord

Le système de bord du Cougar NG a été entièrement reconçu durant les chantiers de modernisation. Il est désormais constitué de quatre écrans numériques configurables pour le pilotage et la navigation, ainsi que de deux écrans de paramètres dont l'*electronic instrument display* (EID) en charge de l'affichage des paramètres moteur et aéronef.

Chacun des quatre écrans principaux reçoit des données des capteurs de l'hélicoptère et est configurable manuellement. Les écrans extérieurs droits et gauches sont en général réglés sur la fonction écran de vol et navigation, *flight and navigation display* (FND) et les écrans intérieurs sur la fonction navigation (*navigation display* NAVD). Selon la mission de l'appareil, l'équipage peut choisir d'autres affichages : format carte numérique, *digital mapping* (DMAP) et écran de mission, *mission display* (MISD).

Au moment de l'accident, les quatre écrans sont configurés sur les fonctions FND et NAVD à l'identique de la figure ci-dessous.

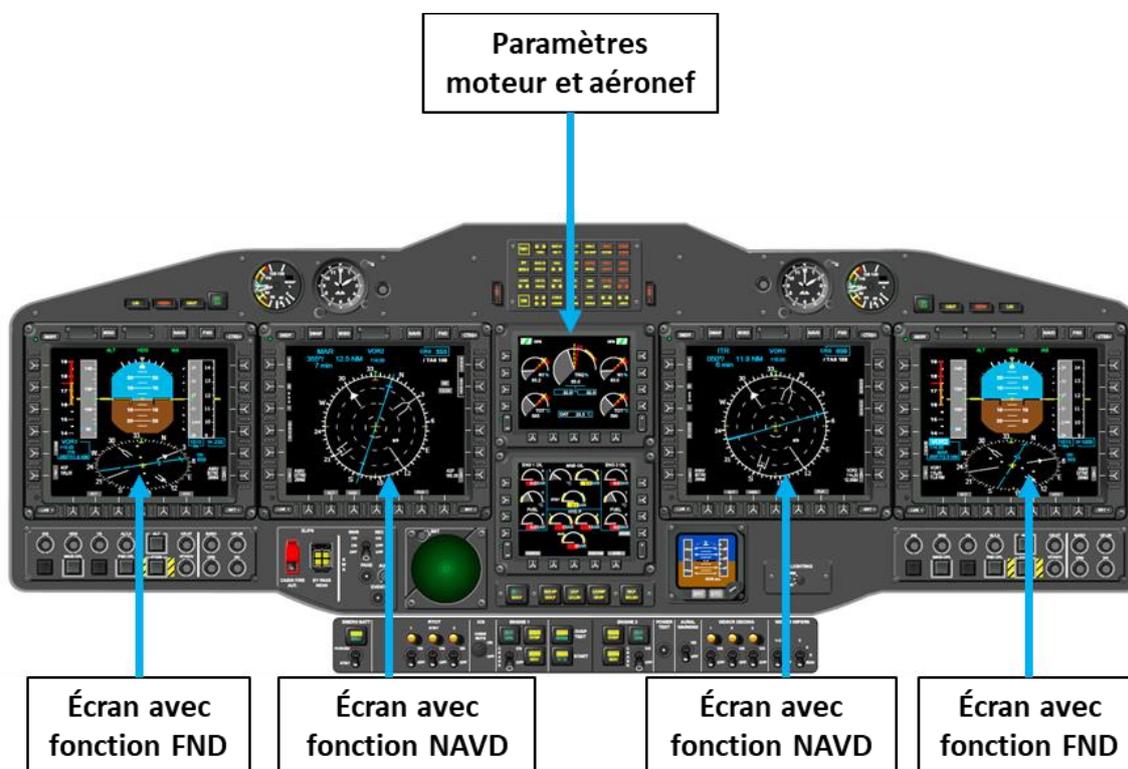


Figure 16 : tableau de bord du Cougar NG

<sup>12</sup> CVFDR : *cockpit voice and flight data recorder*, enregistreur des données de vol et des voix en cabine.

### 1.19.1.2. Indicateur de vent

Une rose des vents est affichée à la fois sur les écrans FND et également NAVD. Elle comprend un indicateur de direction et de force du vent affiché en permanence sur le côté supérieur gauche. Le vent est estimé par le calculateur de mission en évaluant la dérive de la navigation par rapport à la position satellite en temps réel. Ce système commence à être efficace au-delà de 30 kt de TAS<sup>13</sup> et 20 kt de GS<sup>14</sup> avec une fréquence de mise à jour de 30 secondes. Le calcul du vent est fait par la différence entre la TAS, mesurée par le système anémométrique et la GS obtenue par le système GPS. La mesure du vent reste bloquée sur la dernière valeur valide lorsque la TAS ou la GS descendent en dessous de leur valeur d'efficacité (30 et 20 kt). Le système présente le vent avec les symboles de la figure ci-dessous.

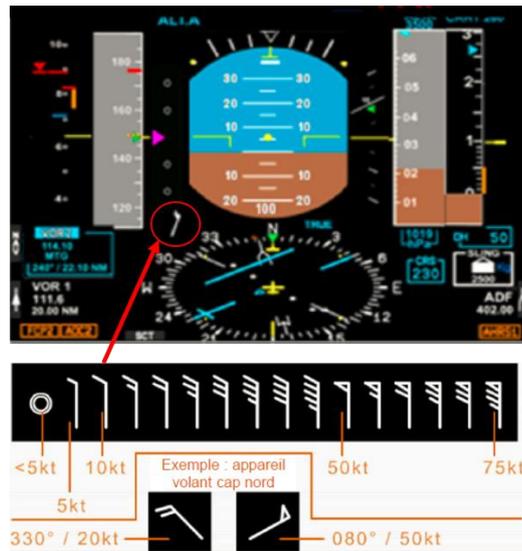


Figure 17 : indicateur de vent de la rose des vents

### 1.19.1.3. Écran de paramètres moteur

L'EID est un écran central du tableau de bord qui affiche les paramètres des moteurs ainsi que le couple-mètre du rotor principal. La vitesse de rotation du générateur de gaz (N1) de chacun des moteurs est affichée en pourcentage. Cela quantifie la puissance instantanée délivrée par les moteurs. C'est cet écran qui a été surveillé par le MO durant l'exercice.

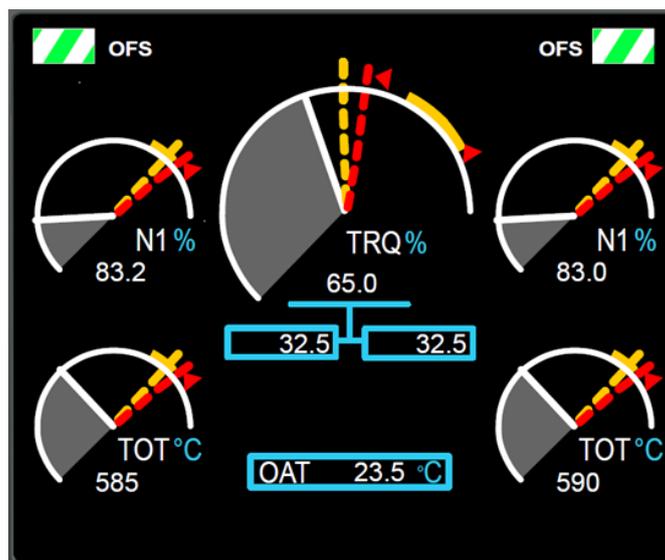


Figure 18 : EID

<sup>13</sup> TAS : *true airspeed*, vitesse vraie d'un aéronef par rapport à la masse d'air dans laquelle il vole.

<sup>14</sup> GS : *ground speed*, vitesse sol d'un aéronef (est souvent calculé par GPS).

Le régime N1 des turbines à gaz représente le ratio du nombre de tours par minute maximum de la turbine sur le nombre de tours actuels. Il est exprimé en pourcentage sur l'EID.

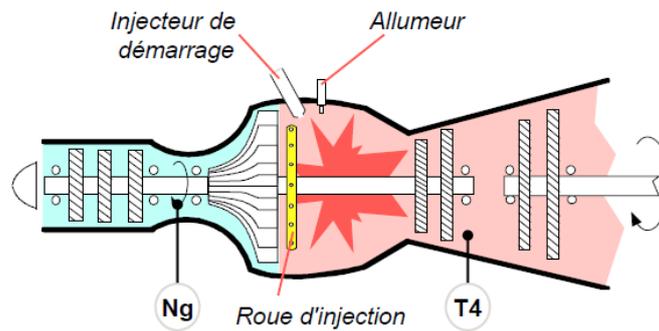


Figure 19 : schéma de principe de la turbine à gaz

#### 1.19.1.4. Pilotage de l'hélicoptère

Les commandes de vol agissent sur les angles de pas du rotor principal et du rotor arrière pour manœuvrer l'hélicoptère. Ainsi, le pilote contrôle le vol de son appareil en :

- variation d'altitude grâce au levier de pas collectif (1 sur la figure 20) également appelé PG, qui contrôle la portance du rotor principal (variation collective du pas) ;
- vitesse/direction via le manche cyclique (2 sur la figure 20) qui commande l'inclinaison du disque rotor (variation cyclique du pas) ;
- contrôle de l'appareil autour de son axe de lacet au moyen du « bloc pédales » (3 sur la figure 20) qui agit sur la poussée du rotor arrière anticouple.

Le MO commence l'exercice en abaissant le PG (1), ce qui a comme conséquence une perte de hauteur.

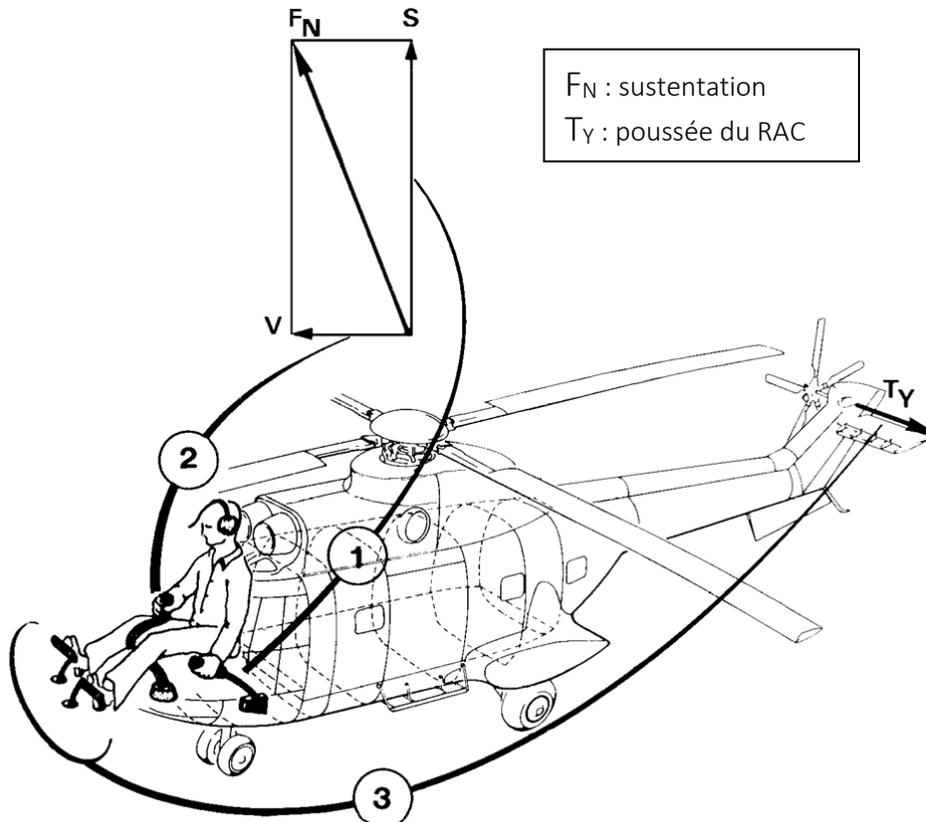


Figure 20 : commandes de l'hélicoptère

### 1.19.1.5. Pilote automatique

L'hélicoptère Cougar NG possède un système de pilote automatique qui lui permet de mettre en œuvre des modes de fonctionnement différents en fonction des choix du pilote.

Le pilote dispose des modes suivants :

- un mode de stabilisation basique appliqué sur les axes de tangage, de roulis et de lacet ;
- des modes pilotage transparent pour la gestion des compensateurs ;
- des modes supérieurs sur les quatre axes qui permettent notamment la tenue de l'altitude, la transition automatique vers le stationnaire et son maintien.

## 1.20. Le vortex

### 1.20.1. Généralités

Le vortex est un phénomène aérodynamique qui peut se manifester sur tous les types d'hélicoptères. Il se caractérise par un taux de descente qui augmente brusquement et rapidement pour une puissance moteur constante. L'hélicoptère s'enfonce dans son propre flux d'air alors que sa propulsion continue de fonctionner nominalement. Cet enfoncement est la conséquence du décrochage partiel du rotor.

Un hélicoptère entre en vortex quand il reste dans son propre sillage rotor ou quand son taux de chute approche la valeur de la vitesse induite<sup>15</sup>.

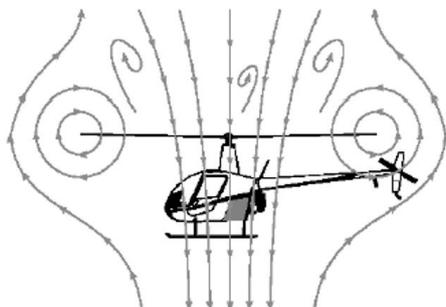


Figure 21 : flux d'air durant un état de vortex

Les pales tournent alors dans leurs propres remous et l'air forme un anneau tourbillonnaire qui isole partiellement le rotor. Cette partie n'est plus traversée par un flux d'air nécessaire à la sustentation de l'hélicoptère et cette masse d'air isolée accompagne l'aéronef dans sa chute.

Le phénomène de vortex induit une perte d'efficacité des commandes de l'hélicoptère. Le seul moyen de sortir du vortex est de quitter l'état tourbillonnaire.



Figure 22 : phénomène du vortex révélé par des fumées

<sup>15</sup> Vitesse induite : vitesse de l'air au travers du rotor moins le vent relatif.

Ce phénomène aérodynamique est relativement rare. Il est susceptible de se produire en vol à des vitesses faibles, inférieures à 30 kt, avec un taux de descente voisin de la vitesse induite. Cette vitesse induite varie en fonction notamment du diamètre rotor, du nombre de pales et de la masse de l'appareil. Airbus Helicopters estime que cette vitesse est supérieure à 1 200 ft/min sur un Cougar.

### 1.20.2. Vortex dynamique

Dans le cas où la descente de l'aéronef s'installe alors que le rotor principal n'est pas à l'horizontale, la vitesse ressentie par le rotor principal sera plus importante. Une partie de la vitesse indiquée ( $V_i$ ) sera ajoutée à la vitesse rotor.

Lors d'un relevé d'assiette de  $10^\circ$ , la projection de  $V_i$  sur l'axe perpendiculaire au rotor ( $V_i$  rotor) va instantanément s'ajouter à la vitesse verticale ( $V_z$ ). Pour un taux de chute supérieur à 500 ft/min, la  $V_z$  vue par le rotor ( $V_z$  rotor) est alors supérieure en valeur absolue à 750 ft/min et le risque de vortex devient élevé.

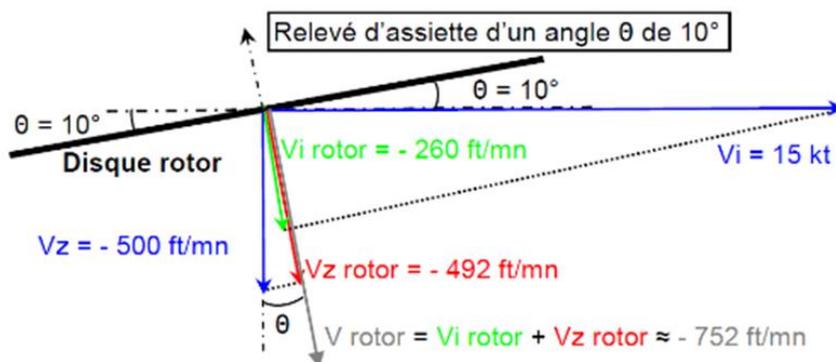


Figure 23 : schéma du vortex dynamique

Si pendant la descente de l'aéronef, l'angle du rotor principal continue à évoluer, passant de zéro à  $10^\circ$  par exemple, la vitesse ressentie par l'extrémité des pales sera encore plus importante. La  $V_z$  appliquée à la partie avant du rotor pourra dépasser les 1 000 ft/min. La partie avant du disque rotor se mettra alors à décrocher. L'hélicoptère risquera le vortex dynamique.

Les approches en vent arrière, les approches à forte pente, les mauvaises tenues verticales du stationnaire sont des situations favorisant l'apparition du vortex. Une valeur de pas général importante qui augmente l'angle des pales du rotor facilite également l'établissement de l'anneau tourbillonnaire.

PAS DE TEXTE

## 2. ANALYSE

L'analyse qui suit est fondée sur l'exploitation des témoignages et l'expertise des indices récupérés. Elle s'appuie également sur le témoignage d'habitants de Bouilh-Devant qui ont filmé la mise en place finale de l'hélicoptère et assisté à sa chute brutale.

Elle se décompose en trois parties. La première partie résume les résultats des différentes expertises. La deuxième a pour objet de reconstituer le scénario probable de l'évènement. La troisième consiste à identifier les causes possibles de cet accident.

### 2.1. Expertises techniques

#### 2.1.1. Examen de l'épave

L'expertise de l'épave porte sur de nombreux éléments de l'aéronef notamment :

- la structure arrière et le RAC pour déterminer la cinématique de rupture ;
- les trains d'atterrissage et la cellule pour déterminer les paramètres de l'impact avec le sol ;
- la boîte de transmission principale (BTP) et le mat rotor principal (MRP) ;
- les pales principales ;
- des équipements divers.

##### 2.1.1.1. Trains d'atterrissage

Le Cougar est équipé de deux trains principaux situés à l'arrière de la cellule et d'un train auxiliaire en amont. Le train auxiliaire a été retrouvé sur l'avant de la cellule dans une position de basculement montrant qu'il s'est rompu vers l'avant, à l'inverse de sa position escamotée. La position du doigt de verrouillage confirme que le train d'atterrissage auxiliaire était verrouillé sorti dans l'axe au moment de l'évènement. Une analyse de la déformation de ce train au microscope électronique à balayage conclut à sa probable rupture de bas en haut. Ce sens de rupture est cohérent avec un basculement du train auxiliaire vers l'avant à la suite d'un choc violent. Pour permettre ce basculement du train auxiliaire, l'appareil était probablement légèrement cabré lorsqu'il a touché le sol. Il est difficile de déterminer un angle d'assiette avec précision.

Les trains principaux sont fortement endommagés à cause de l'incendie. Ils sont constitués principalement de parties en aluminium qui ont en grande partie fondu. Les amortisseurs-vérins des trains sont encore fixés à des éléments de structure et aucune dégradation (déformation, rupture) antérieure à l'évènement n'est observée.

**L'aéronef était légèrement cabré au moment de l'impact avec le sol sans pouvoir déterminer la valeur de l'assiette avec précision. Par ailleurs, aucune dégradation (déformation, rupture) antérieure à celles provoquées par l'impact avec le sol n'est observée sur les trains principaux.**

##### 2.1.1.2. Mat rotor principal

Les ruptures observées sont de type statique. Les ruptures et les déformations semblent être consécutives à l'évènement, probablement suite au contact des pales, à forte énergie, avec le sol et au basculement de l'appareil sur le côté droit.

Aucun indice (usure, trace d'impact, etc.) n'est observé au niveau du moyeu permettant de déterminer la position de la tringlerie (bielles de commande de pas, plateaux cycliques) au moment de l'impact.

**Aucune dégradation antérieure à celles provoquées par l'impact avec le sol n'est observée sur le MRP.**

### 2.1.1.3. Rotor principal

Aucun impact préalable n'a pu être mis en évidence sur les pales. Les ruptures observées sont de type statique. Les dommages observés sur les pales confirment un contact à forte énergie avec le sol. Les pales rouge et jaune sont recourbées. Cela est cohérent avec le basculement du rotor principal sur le côté droit alors que celui-ci était encore en train de tourner.

**Les dommages observés sur le rotor principal indiquent un contact des pales avec le sol à forte énergie suite au basculement sur le flanc droit.**

### 2.1.1.4. Boîte de transmission principale

La BTP est retrouvée, dans les premiers constats sur le site, ouverte au niveau du carter principal avec sa pignonnerie visible. Le carter principal a fondu en partie (côté droit et partie inférieure). L'analyse de l'ensemble des pignons, satellites et autres engrenages de la BTP n'a pas montré de denture rompue ou de dégradation significative.

Il semble que la BTP est en bon état de fonctionnement au moment de l'évènement. Aucun signe de défaillance antérieure à l'évènement n'est constaté.

**Aucune dégradation antérieure à celles provoquées par l'impact avec le sol n'est observée sur la BTP.**

### 2.1.1.5. Plancher mécanique

Le plancher mécanique est situé au niveau de la partie supérieure du fuselage. Essentiellement constitué de tôles en titane, il soutient l'ensemble BTP/MRP et le groupe turbo moteur. Il comprend notamment les ferrures de fixation des moteurs avec la BTP/MRP ainsi que des cloisons pare-feu assurant la séparation entre les moteurs et le circuit hydraulique (bâches hydrauliques, tuyauteries diverses et centrales).

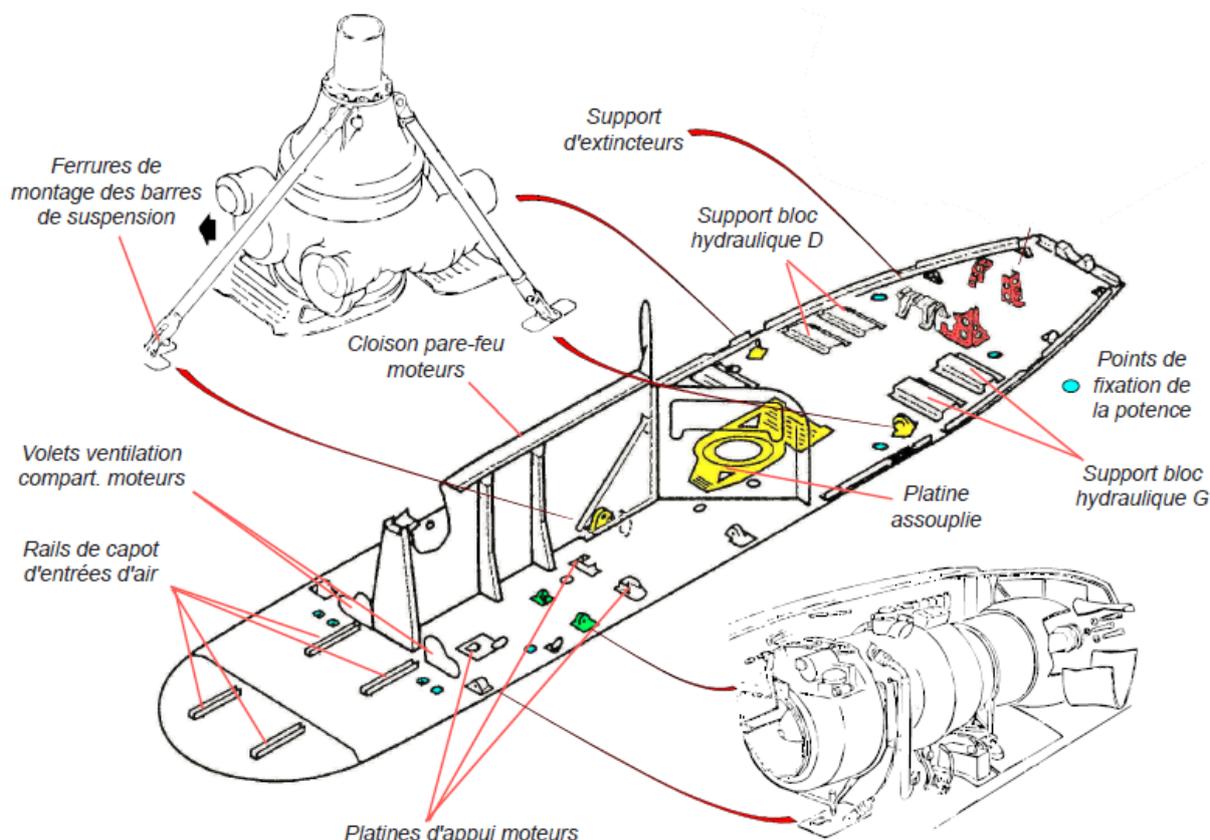


Figure 24 : plancher mécanique

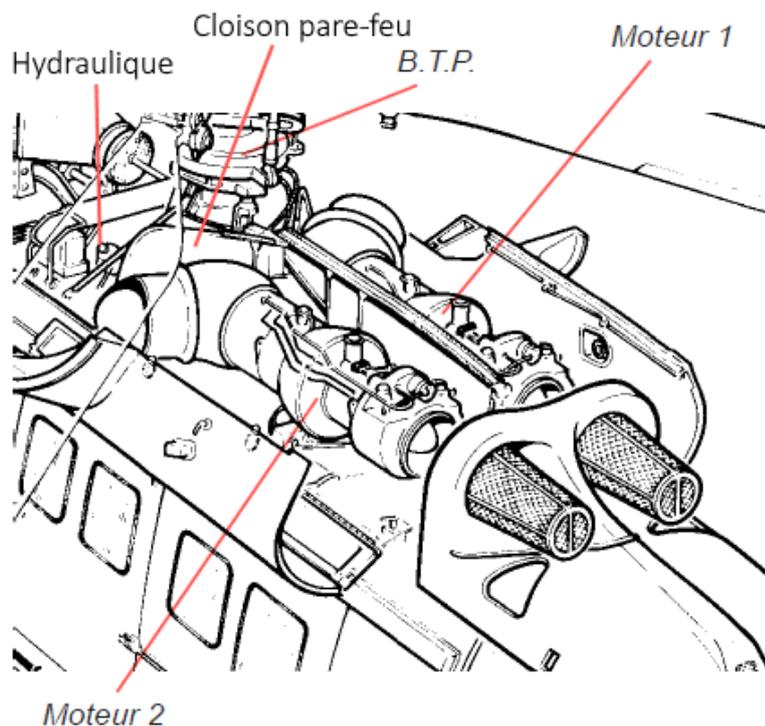


Figure 25 : plancher mécanique équipé

Consécutivement à l'impact à haute énergie avec le sol puis au basculement sur le flanc, les cloisons pare-feu sont déformées au niveau des supports moteur et le compartiment proche de l'échappement du moteur gauche est déchiré. Dans cet état, l'efficacité de la cloison pare-feu n'est pas assurée.



Figure 26 : cloisons pare-feu

**La fonction de ségrégation des cloisons pare-feu entre les moteurs et le circuit hydraulique n'est plus effective.**

#### 2.1.1.6. Bâche hydraulique gauche

Les bâches hydrauliques sont situées sur le plancher mécanique derrière les moteurs. Des cloisons pare-feu assurent l'isolement entre les bâches et l'échappement moteur. Seule la bâche hydraulique gauche a été retrouvée. L'examen visuel de la bâche hydraulique gauche met en évidence une perforation et des déformations consécutives à l'évènement ainsi que l'absence de liquide hydraulique dans cette bâche.

**Les dégâts constatés sur la bâche hydraulique gauche sont consécutifs à l'accident. La bâche hydraulique a été perforée.**

#### 2.1.1.7. Circuit hydraulique

L'arrachement de la structure arrière du Cougar a provoqué la rupture des tuyauteries hydrauliques qu'elle contenait et la bêche hydraulique gauche s'est perforée durant le basculement sur le flanc droit. Avec une pression nominale du circuit hydraulique de 150 bars, le liquide hydraulique a vraisemblablement été projeté avec puissance dans la cellule et sur le plancher mécanique. La cloison pare-feu n'assurant plus sa fonction, il est probable que le liquide ait été en contact avec les parties chaudes du moteur et se soit enflammé.

**Le départ de l'incendie est probablement dû à l'inflammation de liquide hydraulique en contact avec des parties chaudes du moteur suite au déchirement d'une cloison pare-feu.**

#### 2.1.1.8. Chronographe

Le chronographe présente un état fortement dégradé et brûlé. Sa vitre est fendue et les aiguilles sont partiellement fondues. Elles sont figées sur 16h23. Il est probable que le chronographe s'est arrêté de fonctionner à la suite de l'incendie lorsqu'il s'est propagé jusqu'au cockpit. L'ensemble de l'aéronef devait être en feu à 16h23.



– *Heure affichée = 16h23* –

Figure 27 : chronographe

**L'incendie s'est étendu dans tout l'aéronef à 16h23, heure du chronographe.**

#### 2.1.1.9. Commandes de vol

Malgré les dégâts importants dus à l'incendie, quelques éléments de commande de vol ont pu être identifiés et associés à la commande correspondante. Ces éléments en bon état et exploitables n'ont mis en évidence aucune défaillance technique antérieure à l'évènement.

L'analyse des commandes du PG et du cyclique a permis de déterminer leur position au moment de l'incendie. La valeur de PG constatée durant l'expertise correspond à la position « petit pas », c'est-à-dire à une commande de PG baissée.

Cette position ne correspond pas avec les témoignages du MO et du PIL qui assurent avoir tiré sur le manche du PG durant la chute. Cette position peut être consécutive à l'impact avec le sol où le choc et la décélération ont entraîné les manches tenus par les pilotes vers le bas.

Les valeurs de sortie de tige de servocommandes principales correspondent à une position du manche cyclique en butée arrière et quasi butée droite. Cette position de manche cyclique ne correspond pas non plus à une position de commande que l'on appliquerait volontairement. Elle est cependant cohérente avec l'évènement pendant lequel le PIL et/ou le MO à la suite du basculement de l'appareil sur le côté droit peuvent avoir placé le manche dans cette position.

**Les commandes de vols fonctionnaient normalement au moment de l'accident. Les positions retrouvées sont cohérentes avec l'évènement.**

#### 2.1.1.10. Arbre de transmission de puissance du RAC

La chaîne de transmission de la puissance au rotor arrière s'effectue à partir de la prise de mouvement sur le réducteur à l'arrière de la BTP.

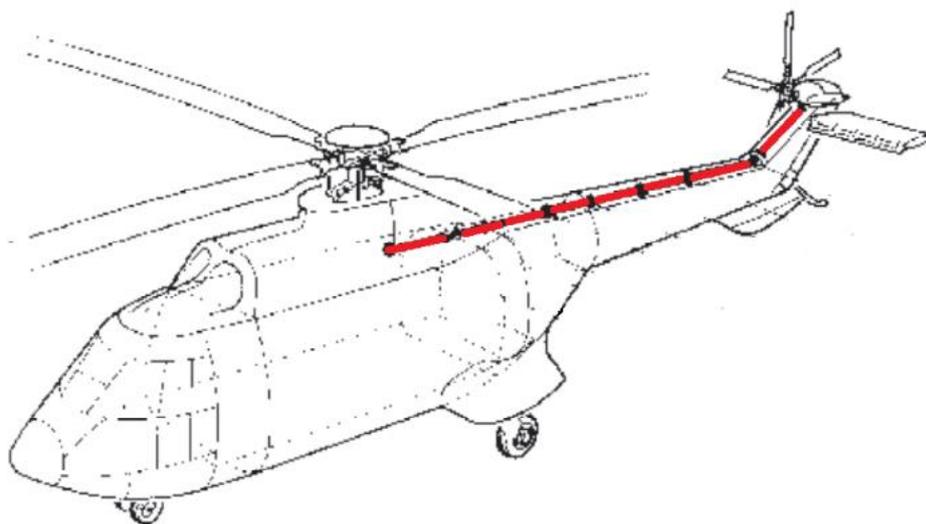


Figure 28 : arbre de transmission de puissance du RAC

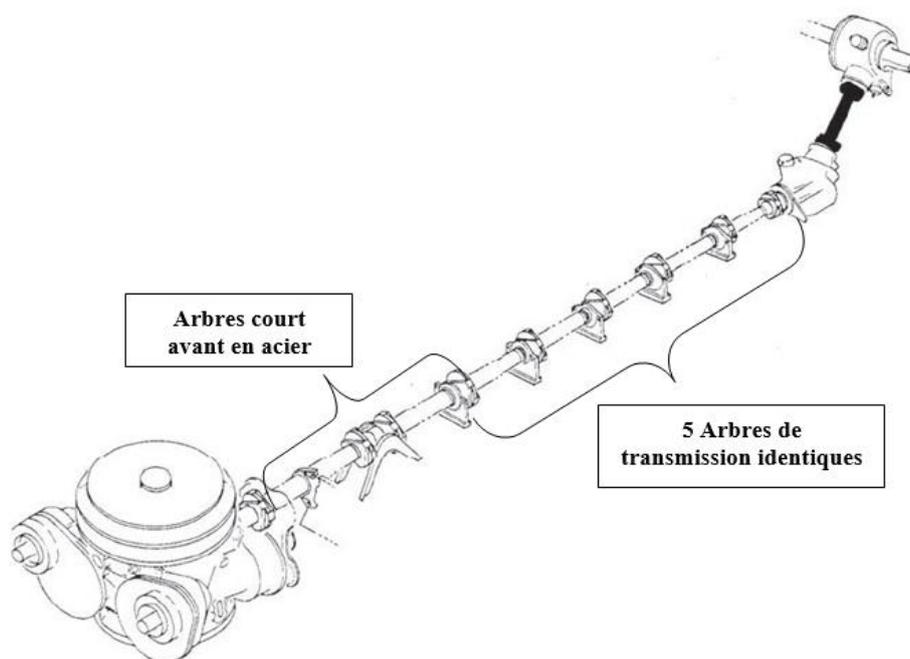


Figure 29 : schéma des six arbres de transmission

Le premier élément de l'arbre de transmission avant a été retrouvé dans les restes de la cellule incendiée à l'arrière de l'ensemble BTP/MRP.

Le deuxième élément repose parmi les débris éparpillés à droite de la cellule. L'examen visuel de cet arbre montre que celui-ci est déformé dans le sens horaire à environ 90°.



Figure 30 : second arbre de transmission

Les quatre autres arbres constituant l'arbre de transmission long se trouvent encore dans la structure arrière. Ils sont globalement en bon état. Aucun blocage d'arbres ni avec la boîte de transmission intermédiaire ni avec la boîte de transmission arrière n'est constaté. Le RAC tourne librement et entraîne les arbres de transmission qui sont encore présents dans la poutre de queue.

**Aucune dégradation antérieure à celles provoquées par l'impact avec le sol n'est observée sur l'arbre de transmission. Le RAC tourne librement entraînant les arbres de transmission après l'accident.**

#### 2.1.1.11. Rotor anticouple

Le RAC est équipé de cinq pales. Les pales bleue et jaune sont rompues. Les pales rouge et noire sont pliées à environ 90°. La pale blanche est restée intacte. Le moyeu de rotor arrière, la boîte de transmission arrière et les biellettes de commande du RAC semblent en bon état.

L'expertise de la structure arrière indique que la poutre de queue se serait désolidarisée après le basculement de l'appareil sur le flanc droit avec un mouvement de la droite vers la gauche. La présence d'éléments du cadre 9000 (les échelles, des équipements et les éléments de transmission) uniquement sur un angle à 60° atteste que l'ouverture de la cellule s'est faite au moment du basculement de l'aéronef.

En basculant sur le flanc avec un RAC encore en fonctionnement, la poutre de queue se tord à 90° et se désolidarise de la cellule. La structure arrière est alors projetée sur l'avant par le RAC, qui continue à tourner, pour ensuite rebondir et atterrir à l'envers à quelques mètres au nord de la cellule. Le RAC n'étant plus entraîné, il s'arrête de tourner en moins d'un tour après le contact avec le sol de quatre pales.

**Les dégâts constatés sur le RAC sont cohérents avec le basculement sur la droite de l'aéronef. La structure arrière s'est détachée de la cellule de l'hélicoptère au moment de son basculement sur le flanc droit.**

#### 2.1.1.12. Balise de détresse

La radiobalise de détresse COSPAS-SARSAT émet des données destinées à la localisation et à l'identification d'un aéronef après un accident vers des satellites dédiés. Elle est activée automatiquement si l'aéronef subit un choc suffisant pour déclencher le capteur d'accélération. Elle utilise une antenne trifrèquence omnidirectionnelle installée dans la structure arrière.

La balise de détresse a été retrouvée à l'arrière de l'épave calcinée toujours attachée à la structure intermédiaire. Elle présente quelques brûlures, notamment à proximité des connectiques et sa liaison avec son antenne est rompue. La balise de détresse a été testée sur banc et malgré une batterie faible, elle fonctionne toujours correctement.

**La balise de détresse n'a pas pu émettre lors de l'évènement à cause de la rupture de la liaison avec son antenne.**

### 2.1.2. Examen des moteurs

Le moteur gauche présente des dégâts caractéristiques d'un fonctionnement à l'instant de l'impact avec le sol. Le moteur droit a été constaté beaucoup plus endommagé que le moteur gauche. L'expertise conclut que la chambre de combustion était allumée au moment de l'accident et que le moteur délivrait une grande quantité d'énergie. Le basculement sur le côté droit de l'aéronef semble à l'origine de ces dégâts par l'ingestion de nombreux corps étrangers.

Aucune anomalie antérieure à l'évènement n'a été détectée sur les deux moteurs.

**Les deux moteurs de l'hélicoptère tournaient normalement au moment de l'accident.**

### 2.1.3. Examen des fluides

L'expertise des fluides n'a pas mis en évidence de concentration ni de taux de pollution qui n'étaient pas dans les normes.

**L'état des fluides de l'hélicoptère est conforme.**

### 2.1.4. Examen du panneau d'alarme

L'étude du tableau d'alarme a permis de mettre en évidence l'état de quelques voyants au moment de l'incendie. Chacun des voyants est constitué de deux ampoules. Les ampoules sont toutes du même type à double enroulement. Des examens au microscope électronique à balayage ont été réalisés pour statuer sur l'état chaud ou froid du filament à l'impact. L'expertise a pu définir l'état de cinq voyants (allumé ou éteint) :

- voyants éteints : « MGB P » et « FUEL » ;
- voyants allumés : « FIRE D », « DEICE » et « COWLS ».

La signification de ces voyants est la suivante :

- voyant ambre « FUEL » : anomalie des circuits de carburant qui indique soit une baisse de pression, soit un colmatage de filtre, soit un bas niveau ;
- voyant rouge « MGP P » : baisse de pression d'huile BTP au niveau de la rampe de graissage ;
- voyant ambre « DEICE » : défaut de fonctionnement de l'antigivrage ;
- voyant ambre « FIRE D » : s'allume en cas de coupure de la ligne de détection, de dégradation des caractéristiques de la ligne de détection ou de perte du courant d'alimentation du système de détection incendie ;
- voyant ambre « COWLS » : mauvais verrouillage ou ouverture d'un ou plusieurs capots (GTM, BTP, radôme).

L'état de ces voyants est cohérent avec la situation de l'aéronef au moment de l'incendie : circuit carburant en feu, tuyauteries et éléments de structures endommagés.

**L'état des voyants du tableau d'alarme qui ont été expertisés est cohérent avec les conséquences de l'accident.**

### 2.1.5. Scénario d'endommagement

L'aéronef percute le sol avec beaucoup d'énergie et avec une légère assiette à cabrer. Le train auxiliaire se rompt et bascule vers l'avant. Juste avant l'impact, dans l'effet de sol, le rotor redevient efficace avec une valeur de PG indiquée très forte. En effet, durant la chute, les deux pilotes ont tiré sur ce manche au maximum. L'aéronef se remet alors brièvement en stationnaire avec un couple très important qui n'est pas assez contré par le RAC. Dans un stationnaire conforme, la position du pied est directement liée à l'inclinaison des pales dans une masse d'air normal. Or, en étant adaptée à la position du PG au moment de la chute, la position du « bloc pédales » n'est pas suffisante à ce moment pour contrer ce nouveau couple et l'hélicoptère se met à tourner dans le sens antihoraire.

Il ne fait probablement pas un tour complet avant de basculer sur le flanc droit. Durant la rotation, la béquille accroche une motte de terre et se déforme. L'hélicoptère bascule ensuite sur son flanc. Les pales du rotor principal percutent le sol avec beaucoup d'énergie et sont détruites. La poutre de queue se plie à 90° de la droite vers la gauche sous l'effet propulsif du RAC. Elle se désolidarise de la cellule et elle est projetée à quelques mètres, rebondit sur le sol et s'immobilise à l'envers.

Des éléments à l'intérieur de la structure intermédiaire dont les échelles et les éléments de transmission au niveau du cadre 9000 sont éjectés et éparpillés à droite de la cellule.

Le RAC continue de tourner par son inertie et les pales s'endommagent au contact de la terre. Le RAC s'arrête avant le contact au sol de la cinquième pale.

**L'ensemble des dégâts de l'aéronef est consécutif à la collision. Aucune défaillance préalable à l'évènement n'a été mise en évidence par les expertises.**

#### 2.1.6. Expertise des vidéos

Un couple de témoins a assisté aux exercices du Cougar et a filmé quelques passages de l'hélicoptère. Malheureusement, le stationnaire était masqué par les arbres et n'a pas été enregistré. La seconde personne, positionnée un peu plus en amont, a assisté au dernier exercice.

Ces vidéos pertinentes pour la compréhension de l'évènement ont été analysées et sont présentées ci-dessous.

##### 2.1.6.1. Approche avant le dernier exercice



|                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Temps en s         | 12  | 11  | 10  | 9   | 8   | 7   | 6   | 5   | 4   | 3   | 2   | 1   | 0   |
| Assiette en degrés | 7,1 | 7,4 | 7,7 | 8,0 | 8,3 | 8,7 | 9,0 | 8,0 | 7,0 | 6,0 | 5,3 | 4,7 | 4,0 |
| Vitesse en kt      | 47  | 49  | 50  | 50  | 52  | 53  | 55  | 54  | 54  | 53  |     |     |     |

Figure 31 : vidéo analysée de l'approche

Le pilote commence la réduction de vitesse en relevant l'assiette de l'hélicoptère, au cap 310°. Sur les 12 secondes de la séquence filmée, l'assiette n'est pas stable et apparaît un peu importante pour ce type d'approche. Cela traduit une précision relative dans l'exécution du pilotage.

**Le pilote commence la réduction de vitesse en relevant l'assiette de l'hélicoptère au cap 310° avec une précision relative de pilotage.**

### 2.1.6.2. Panache de fumée

L'analyse des vidéos permet d'estimer un vent avec une force entre 6,1 et 8,7 kt venant du 95°. L'expertise a pris en compte l'influence du relief de la zone sur le vent et la marge d'erreur est de l'ordre de plus ou moins 10°. Ce résultat d'analyse est cohérent avec les observations météorologiques dans la zone au même moment.

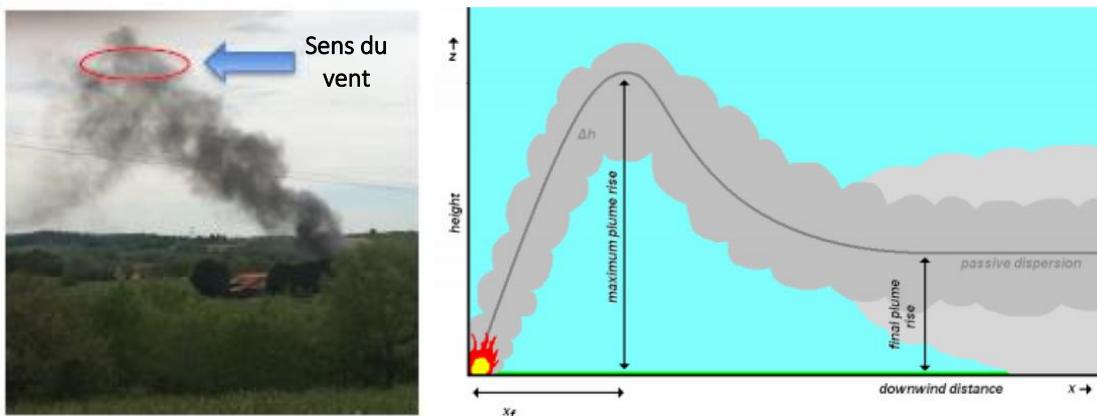


Figure 32 : analyse du panache de fumée

À 16h17, le vent sur la zone est modélisé avec une force entre 6 et 9 kt venant du 095°.

### 2.1.6.3. Approche vent arrière

La trajectoire finale est sur un axe orienté au 310°.

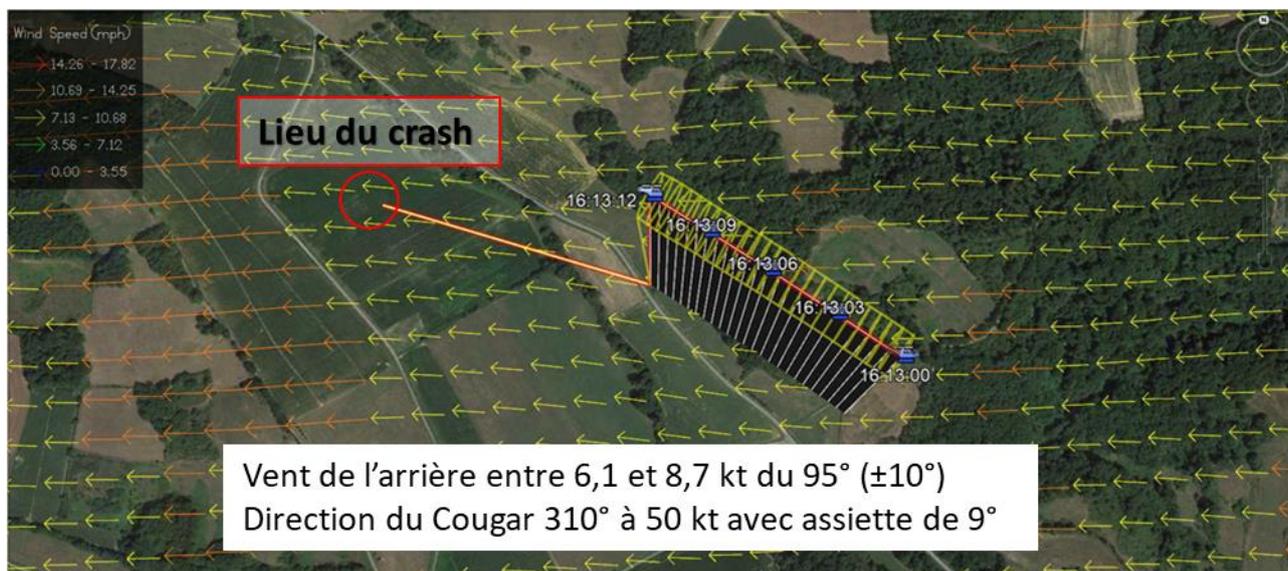


Figure 33 : carte des vents et trajectoire de l'hélicoptère

La trajectoire d'approche finale visible sur la vidéo suit un axe au 310° environ avec un vent arrière du 095°.

À la fin de la vidéo, la direction et la force du vent au moment de l'accident démontrent que le Cougar s'est présenté pour le stationnaire avec une composante de vent de secteur arrière.

#### 2.1.6.4. Dernière MRAD

Sur la vidéo tournée à 16H06, le Cougar réalise un demi-cercle de la MRAD au-dessus de Bouilh-Devant avant le dernier exercice de treuillage pour recueillir les éléments utiles à sa présentation. Le mouvement de la cime des arbres est plus lent et moins ample que le même mouvement des mêmes arbres pris au même endroit sept minutes plus tard sur la vidéo de l'approche de l'évènement.



Figure 34 : dernière MRAD à 16h06

**Le vent constaté à partir de la vidéo de la MRAD à 16h06 est plus faible que le vent observé sur la vidéo de l'exercice à 16h13.**

#### 2.1.7. Mise en évidence de l'entrée en vortex

##### 2.1.7.1. Témoignage

L'approche finale est faite face au nord-ouest. L'hélicoptère réalise un stationnaire en cabrant, recule légèrement avant de tomber verticalement. Le stationnaire ne dure qu'une seconde environ.

**Le stationnaire a duré environ une seconde. L'hélicoptère cabre et recule légèrement avant de tomber verticalement.**

##### 2.1.7.2. Stationnaire

Le MO a rapporté qu'il a commencé l'exercice aux régimes N1 de 97% au moment du stationnaire. Cette puissance nécessaire pour maintenir le stationnaire est élevée par rapport à la masse supposée de l'hélicoptère et indique une valeur du PG également importante. L'appareil était très certainement en cours de stabilisation du stationnaire au moment où le MO baisse le PG. Le PIL confirme que le stationnaire n'était pas complètement tenu.

La simulation de la perte de puissance est réalisée à partir du stationnaire par une action mesurée du MO sur le PG. Cela a initié un taux de descente de l'ordre de 500 ft/min au début de l'exercice.

Le MO et le PIL ont rapporté qu'ils ont tiré le PG au maximum durant la chute. Cette action aux commandes n'a eu aucune conséquence corrective sur le taux de chute.

**Le stationnaire de l'hélicoptère est en cours de stabilisation quand le MO a baissé le PG. La valeur du PG est importante à cet instant. Le taux de descente de l'hélicoptère est faible dès le début de l'exercice. Durant la chute, l'équipage a tiré le PG au maximum et cela n'a eu aucune conséquence corrective sur le taux de chute.**

#### 2.1.7.3. Conclusion sur l'entrée en vortex

L'expertise technique a écarté l'hypothèse d'une défaillance technique et les conditions pour la création d'un vortex semblent réunies. En effet, l'installation d'une Vz négative consécutive au déclenchement de l'exercice de simulation de panne, conjuguée à la composante de vent arrière ont bien été établies. Cependant les caractéristiques de l'hélicoptère Cougar font que la vitesse induite du rotor principal est supérieure à 1 200 ft par minutes. Avec les hypothèses obtenues, cette Vz apparaît bien inférieure, cependant la réalisation de l'exercice au moment de la stabilisation du stationnaire, dans une configuration d'enfoncement et avec une valeur du PG importante caractérise le vortex dynamique.

La hauteur du stationnaire dans des conditions de vent arrière du début de l'exercice est insuffisante pour que l'équipage ait le temps de quitter cette phase de vortex avant d'atteindre le sol.

**Le Cougar est vraisemblablement rentré en vortex dynamique.  
Aucune réaction de l'équipage, compte tenu de la hauteur de réalisation de l'exercice, n'aurait permis à l'hélicoptère d'éviter le heurt du sol.**

#### 2.1.8. Simulation du vol

La séquence a été reproduite sur le simulateur d'Hélisim en rejouant l'évènement à partir de la fin du dernier exercice de treuillage jusqu'à la réalisation de l'exercice. L'objectif est de reproduire l'attitude et la vitesse de l'hélicoptère identifiées sur la vidéo et d'avoir des N1 autour de 97% au moment du stationnaire au-dessus du point d'impact. Les paramètres de la simulation ont été réglés sur les hypothèses de l'accident connues : masse, centrage et paramètres reconstitués du vent.

La vidéo des témoins montre que l'hélicoptère se déplace à une vitesse sol de 47 kt. Pour immobiliser l'hélicoptère dans ces conditions, la réduction de vitesse doit être accentuée par rapport à la vidéo et l'assiette à cabrer supérieure à 10°. L'assiette n'est pas vraiment stabilisée durant cette séquence et indique une précision relative dans l'exécution de cette approche. De plus, le régime de 97% de N1 durant un stationnaire est une valeur très importante qu'il n'est pas possible d'obtenir avec les paramètres du Cougar au moment de l'accident.

Au simulateur, le Cougar maintient le stationnaire avec 89% de N1. La valeur de 97% n'est obtenue qu'un court instant durant une phase transitoire où le pilote récupère son aéronef qui a commencé à s'enfoncer suite à une réduction de vitesse importante non maîtrisée.

Ainsi, la séquence est rejouée au simulateur avec une assiette à cabrer d'environ 15° durant l'approche. Cette attitude permet de réduire la vitesse rapidement et diminue aussi la portance. Rapidement, l'hélicoptère n'arrive plus à maintenir son altitude et commence à s'enfoncer. Le pilote tire alors sur le manche du PG pour retrouver son palier, ce qui sollicite les moteurs et fait monter le régime des turbines à gaz. La valeur de 97% de N1 est atteinte et est tenue peu de temps (une seconde). En baissant le PG à ce moment précis, l'hélicoptère part en vortex.

La séquence très probable qui a conduit au vortex est liée à la réduction de vitesse finale réalisée avec une assiette à cabrer de 15°. Le PIL laisse l'aéronef s'enfoncer puis le récupère en augmentant la valeur du PG.

Les N1 montent jusqu'à 97% et c'est à ce moment précis que le MO débute l'exercice en baissant le PG. Le PIL suivant les consignes du MO, rend la main, c'est-à-dire remet le rotor à plat.

La forte amplitude de cette manœuvre avec une valeur de PG importante en vent arrière provoque la rentrée en vortex dynamique.

Une forte amplitude de la dernière manœuvre avec une valeur de PG indiquée importante en vent arrière associée à la baisse du pas collectif provoque une rentrée en vortex dynamique.

## 2.2. Séquence de l'évènement

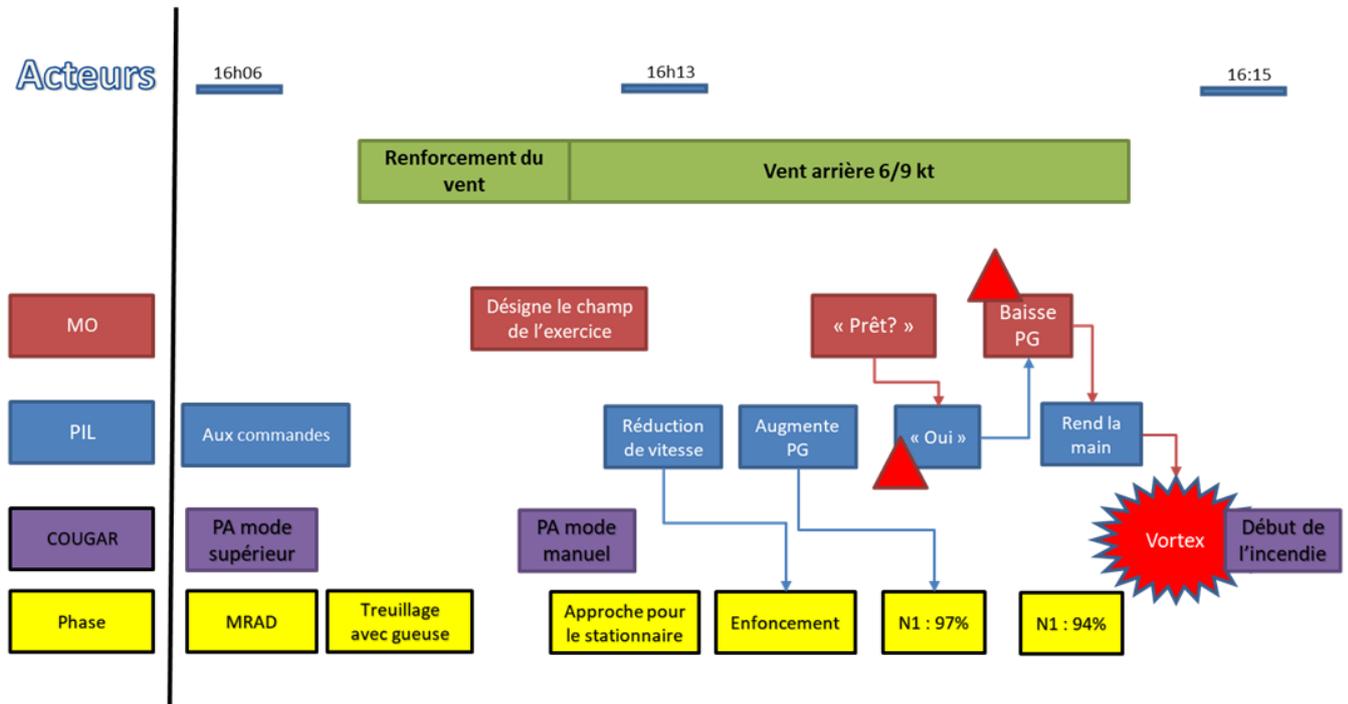


Figure 35 : schéma de la séquence de l'évènement

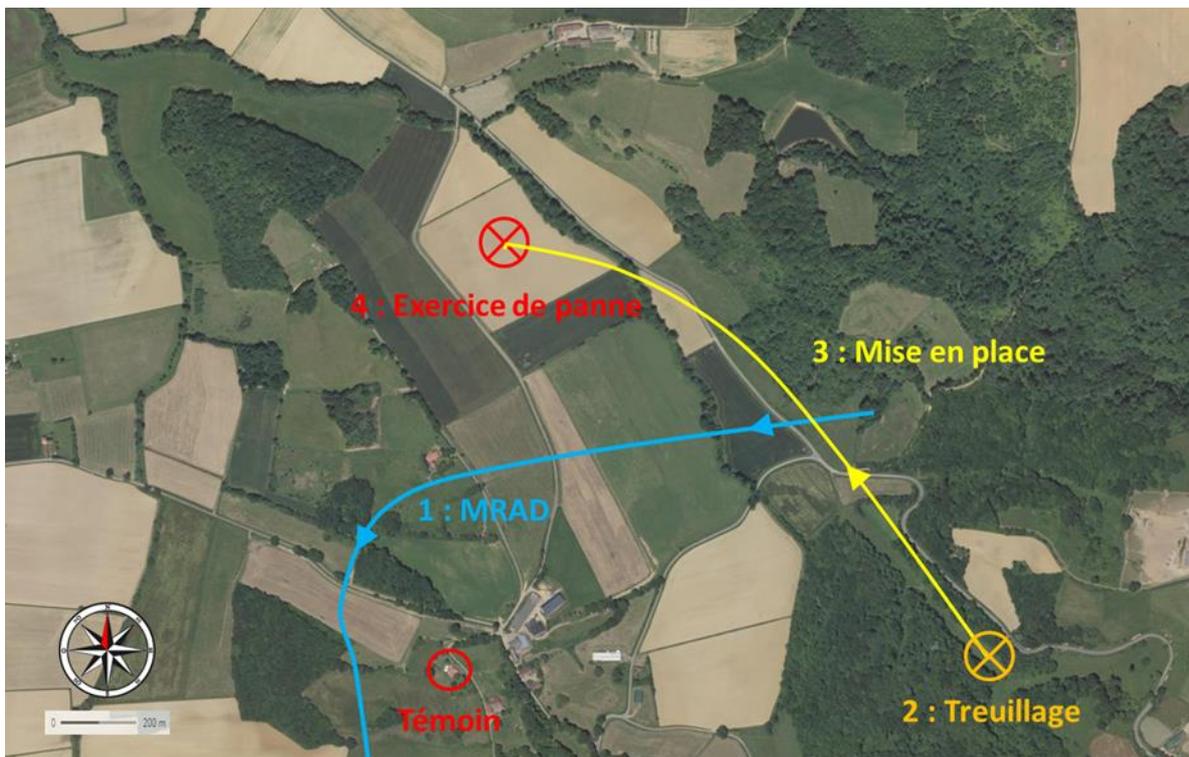


Figure 36 : représentation de la séquence

## 2.3. Recherche des causes de l'évènement

### 2.3.1. Défaillance technique

Aucun problème technique n'a été identifié avant l'accident par le témoignage de l'équipage. L'hélicoptère est resté pilotable jusqu'au début de la réalisation de l'exercice. Un témoin visuel a assisté à l'évènement depuis une colline voisine. Il relate qu'il a vu l'hélicoptère se positionner au-dessus du champ, s'arrêter en cabrant légèrement et même reculer avant de tomber verticalement.

Tous les dommages observés sur les pièces de l'épave expertisée, sont consécutifs à l'impact à haute énergie avec le sol et au renversement de l'aéronef sur le flanc droit.

Aucun défaut ne semble antérieur à la collision et l'hélicoptère était pilotable avant sa chute.

**Aucun problème technique n'est à l'origine de l'évènement**

### 2.3.2. Vol d'instruction de qualification

#### 2.3.2.1. Nature du vol

La séance est un vol de qualification opérationnelle (QOPS) au profit d'un PIL et d'un MVAVT conforme au programme de qualification en escadrille sur hélicoptère Cougar. La QOPS a pour objectif de délivrer une formation complémentaire à l'équipage permettant l'appropriation du Cougar dans des conditions de missions réelles. Le PIL a déjà passé avec succès sa qualification et ce vol traite du module n° 13 optionnel consacré au treuillage, manœuvre qu'il n'avait jamais faite jusqu'à présent. Une fiche pédagogique dédiée décrit les attendus de la séance avec notamment une information sur les hauteurs de sécurité. Suivant les instructions de l'ALAT, le briefing du MO est exhaustif. L'exercice d'entraînement aux hauteurs de sécurité avec la procédure de la panne « double alternateur » qui sera réalisée en fin de séance, est bien présenté.

**Le vol est une mission d'instruction conforme au programme de qualification de l'ALAT.**

#### 2.3.2.2. La procédure de la panne des deux alternateurs

La panne des deux alternateurs est décrite dans les procédures d'urgence du manuel de vol du Cougar. Panne de catégorie ambre, elle demande à l'équipage d'atterrir dès que possible. La fiche de cette panne précise que si un délestage volontaire des équipements non essentiels au vol est appliqué dans les deux minutes de la survenue de la panne, le temps de vol restant est supérieur ou égal à 30 minutes, ce qui permet une gestion sereine de la suite du vol par l'équipage.

À la fin de la procédure, un rappel ambre informe l'équipage que si la tension de la batterie tombe à 22 volts, une perte totale d'électricité peut survenir à tout instant. Dans cette situation, le doseur carburant du régulateur adopte automatiquement une position de sécurité donnant un régime N1 de 85%, ce qui correspond à la plage de puissance de la croisière du Cougar à la masse maximale autorisée.

L'exercice de simulation de panne réalisé par le MO ne fait pas partie des procédures du manuel de vol. En effet, l'occurrence de la panne des deux alternateurs est quasi nulle. À ce jour, la panne des deux alternateurs ne s'est jamais produite dans l'ALAT.

La mise en sécurité du régime N1 à 85% à la suite d'une panne des deux alternateurs est une particularité du Cougar. Ce traitement de panne est enseigné par plusieurs générations de moniteurs Cougar à leur pilote et son enseignement relève d'une transmission orale. Le MO en son temps avait lui-même reçu cette instruction en vol. Cependant, aucun texte ni fiche spécifique ne décrit la procédure d'exécution de cette panne et elle relève surtout de la tradition orale entre pilotes de Cougar.

**Les conséquences de la panne simulée par le MO ne sont pas les conséquences directes de la panne qui sont décrites dans le manuel de vol. Cette approche de la panne relève d'une tradition orale Cougar qui fait partie de la culture de l'escadrille. Sa probabilité d'occurrence est quasi nulle.**

### 2.3.2.3. Approche et contrôle du stationnaire

Les expertises fondées sur l'analyse de la vidéo, les séances aux simulateurs et les témoignages tendent à démontrer que la prise de stationnaire a été faite avec une précision perfectible. Le PIL a beaucoup insisté sur la qualité de ses premiers stationnaires en début de séance. Si les premiers stationnaires ont été effectués manuellement, les stationnaires suivants à l'exception de celui de l'exercice de fin de séance ont été faits avec l'aide du pilote automatique. Dans ce mode, la tenue d'un stationnaire est entièrement assurée de façon autonome, déchargeant complètement le pilote de cette tâche. Il peut alors se consacrer entièrement à sa mission.

Le PIL a une expérience faible sur Cougar et la masse de cet appareil rend la mise en stationnaire plus délicate que sur les hélicoptères qu'il a pilotés auparavant (EC120 et Puma).

Sans doute surpris par le vent arrière qui augmente la vitesse sol, le PIL voulant assurer un stationnaire au bon endroit a effectué une réduction de vitesse rapide accompagnée d'une forte amplitude aux commandes.

**Le retour à un pilotage manuel après une série de stationnaires réalisés au pilote automatique a sans doute pénalisé la précision du PIL en fin de séance. Cette situation est communément rencontrée lors des vols d'instruction.**

### 2.3.3. Conscience erronée de la situation

#### 2.3.3.1. Appréciation des conditions aérologiques

L'appréciation de la direction du sens du vent est une action courante sur hélicoptère. Elle peut se faire au travers de l'analyse de l'attitude de l'aéronef ou d'une observation des éléments extérieurs. La dernière évaluation du vent est faite vers 16h06, juste avant le dernier exercice de treuillage. L'équipage retient un vent négligeable pour la fin de la séance.

Sept minutes plus tard, persuadé que le vent n'est toujours pas significatif, l'équipage ne recherche pas de nouvelles informations concernant le vent sur son système de bord ni à l'extérieur.

Depuis sa rénovation, le Cougar affiche sur ses écrans de bord une mesure automatique du vent. Cette dernière informe de l'intensité du vent et de son orientation, ce qui permet aux équipages d'avoir une connaissance précise du vent en vol. Durant la séquence d'approche, les informations données, compte tenu de la vitesse adoptée (50 kt) sont fiables et indiquent un vent secteur arrière. Lorsque la vitesse de l'aéronef est passée sous les 30 kt, le système a continué d'afficher la dernière valeur enregistrée.

Le MO et le PIL dont l'expérience est établie sur les anciennes générations d'hélicoptère, accordent une fiabilité relative à ce paramètre indiqué du vent disponible sur les nouvelles générations d'hélicoptère.

Le PIL s'est focalisé sur son pilotage et sur la précision de son arrêt. Le MO a porté son attention sur d'autres paramètres : la masse, la hauteur de sécurité, la vitesse d'approche, les N1 et au moment où il baisse le PG, le taux de chute.

Par ailleurs, à l'extérieur, les arbres offrent souvent des indices visuels du sens du vent pour les équipages. Cependant, au moment de l'évènement, le vent est autour de 10 kt et les arbres ont donc des mouvements de faible amplitude qui peuvent être difficiles à détecter à 300 ft.

**Aucune des informations disponibles pour l'évaluation du vent n'a été perçue par l'équipage.**

#### 2.3.3.2. Tenue du stationnaire

La reconstitution de l'évènement et le témoignage du PIL démontrent que le stationnaire était encore en cours de stabilisation lorsque le MO a débuté l'exercice. L'appréciation de la tenue d'un stationnaire par le moniteur lorsqu'il n'est pas aux commandes est plus délicate et se fait au travers :

- de l'évaluation du défilement au sol ;
- de l'analyse des actions du pilote aux commandes ;
- d'une demande au pilote ;
- d'un ressenti proprioceptif.

Visuellement, ces actions aux commandes sont très peu perceptibles par le MO. Lorsqu'il décide d'initier la simulation de l'exercice, son attention se porte à l'intérieur de l'appareil, il ne regarde pas à l'extérieur et ne peut donc pas évaluer le défilement au sol. Quand il ressent que l'hélicoptère est en stationnaire, il demande au PIL s'il est prêt. Celui-ci répond par l'affirmatif et le moniteur baisse immédiatement le PG. À cet instant, l'hélicoptère n'est pas dans un stationnaire bien stabilisé, le pilote agit encore sur les commandes.

Le moniteur n'a pas demandé explicitement à son pilote si le stationnaire était tenu ou contrôlé. Il n'a pas non plus vérifié cela en regardant à l'extérieur pour voir le maintien de la position. Le PIL est conscient qu'au moment où il répond, le stationnaire n'est pas complètement tenu. Cependant, cette situation ne lui semble pas spécialement dangereuse et est acceptable pour la réalisation de l'exercice.

**Aucune des informations disponibles pour l'évaluation du maintien du stationnaire n'a été perçue par le moniteur.**

**Le PIL conscient que le stationnaire n'est pas complètement tenu, considère la situation acceptable pour la réalisation de l'exercice.**

### 2.3.3.3. Synthèse sur la conscience de la situation

Tout au long de la séance, l'équipage a répété des exercices de treuillage dans différentes configurations. Lors de ces exercices, le vent est considéré à chaque fois comme non significatif par l'équipage. Les caractéristiques du terrain lui ont toujours été privilégiées lors des prises de décision. Une conclusion similaire est tirée du contrôle du stationnaire. Chaque exercice de la séance nécessite d'effectuer un stationnaire qui est à chaque fois réalisé sans poser de difficulté ni vérifier le sens du vent.

À aucun moment lors de la séance le vent n'a été significatif pour l'équipage ni le stationnaire une difficulté pour le pilote. En particulier, les derniers exercices de treuillage sont effectués avec le pilote automatique qui renforce le confort d'exécution. La MRAD réalisée avant le dernier exercice de treuillage démontre un vent négligeable.

La stabilité des phénomènes aérologiques a conduit l'équipage à élaborer une représentation de la situation qui n'a jamais été remise en question tout au long du vol. Pour l'équipage, le vent est non significatif et la tenue du stationnaire est assurée sans difficulté. La représentation de la situation ainsi établie est maintenue par une recherche d'information en fonction de ce que l'on attend de la situation. Aussi, tant que l'information perçue par l'équipage correspond à la situation attendue, les ressources cognitives de l'équipage ne sont pas allouées à la recherche d'informations contradictoires.

Lors de l'évènement, l'équipage n'a perçu aucun indice pouvant remettre en question sa représentation mentale déjà établie.

**Il est certain que l'équipage a une conscience erronée de la situation.**

La suite de l'analyse s'attache donc à déterminer les causes ayant conduit à l'élaboration d'une conscience erronée de la situation puis les causes ayant altéré la détection des erreurs présentes dans cette représentation.

### 2.3.4. Ressources attentionnelles de l'équipage

#### 2.3.4.1. Charge cognitive du pilote

Le vol est une mission d'instruction au profit du PIL en vue de compléter sa qualification opérationnelle déjà acquise sur hélicoptère Cougar par un complément d'instruction sur le treuillage en mission. Le vol est particulièrement dense. Une dizaine de treuillages et des exercices moteur en stationnaire sont au programme de cette mission d'instruction pour un total de deux heures de vol.

Le PIL découvre pour l'occasion les missions de treuillage. C'est sa première séance de treuillage, tous types d'hélicoptères confondus. L'apprentissage d'un nouvel exercice demande une forte attention et les ressources cognitives mises en jeu sont alors très élevées.

Sur la durée, un risque de baisse d'attention ponctuelle peut survenir, en particulier durant le passage d'un pilotage selon un mode automatique à un pilotage en mode manuel.

Cela apparaît dans l'analyse de la dernière approche et de la tenue du stationnaire qui mettent en évidence une imprécision dans le pilotage. Dans cette situation, le contrôle d'un vent jugé non significatif est facilement oubliable.

**C'est un vol long et dense qui exige du pilote la mise en jeu de ressources cognitives importantes tout au long du vol. Une baisse d'attention ponctuelle peut avoir contribué à un défaut de contrôle du vent ou à un relâchement dans le pilotage.**

#### 2.3.4.2. Fin de vol et niveau de difficulté perçue de l'exercice

L'évènement survient en fin de séance alors que l'équipage est sur le retour vers la base. Le moniteur décide de faire un dernier exercice qui avait été annoncé au briefing avant le vol. Toute la séance s'est déroulée nominalement. L'ensemble des exercices prévus a été réalisé. Les conditions météorologiques sont très proches des dernières informations obtenues lors du décollage. Le pilote a démontré ses compétences tout au long de la séance, en réalisant les différents exercices avec succès.

Dans ces conditions, il est possible que l'équipage ait subi une baisse d'attention en fin de vol alors qu'il est sur le retour. Cette baisse d'attention en fin de vol peut avoir été accentuée par la perception de facilité de cet exercice. En effet, le terrain choisi ne représente aucune difficulté et la manœuvre attendue du pilote est identique à celle précédemment réalisée lors de l'exercice « panne en stationnaire ».

**La faible difficulté perçue de l'exercice réalisé en fin de vol peut avoir conduit à une baisse d'attention de l'équipage ayant contribué à un défaut de contrôle du vent ou de la tenue du stationnaire.**

#### 2.3.4.3. Excès de confiance du moniteur vis-à-vis du pilote

Tout au long de la séance, le PIL a réalisé des stationnaires à chaque exercice de treuillage. Ces stationnaires ont toujours été maintenus comme attendu. Appliqué, le PIL est satisfait de sa séance. Pour le MO, le stationnaire hors effet de sol est une manœuvre maîtrisée par le pilote avant la séance et cette maîtrise est confirmée. Les compétences démontrées par le PIL lors du vol ont pu créer un excès de confiance du MO vis-à-vis de celui-ci. De plus, les derniers stationnaires sont effectués avec l'assistance du pilote automatique, ce qui a pu renforcer cette impression de maîtrise technique.

**Le MO est confiant envers le PIL et en ses capacités à maîtriser le stationnaire. Cet excès de confiance a pu favoriser une baisse d'attention du moniteur et contribuer à un défaut de contrôle et de correction. Le MO n'a pas perçu le manque de précision dans l'exécution du dernier stationnaire.**

#### 2.3.4.4. Contexte organisationnel pouvant entraîner une fatigue chronique

L'évènement est survenu le 15 avril au cours du premier confinement de la crise sanitaire de la Covid-19. Des changements organisationnels ont été mis en place en raison de cette situation exceptionnelle. L'EHM3 s'est mise à fonctionner en bordées, le personnel alternant chaque semaine. L'activité de deux semaines est devenue concentrée sur une seule semaine pour chaque membre d'équipage. Le nombre d'heures de vol disponibles étant plus élevé chaque semaine, les vols réalisés sont plus longs et plus denses. L'autre semaine, les équipages sont confinés dans leur foyer. Cette situation sanitaire particulière a par ailleurs engendré des contraintes familiales fortes qui ne facilitent pas le repos des équipages.

À la même période, l'exécution du contrat avec HU concernant la maintenance des Cougar de l'escadrille a modifié de façon importante et favorable la disponibilité des hélicoptères. Ainsi, les semaines précédant l'accident, les quotas d'heures de vol alloués de façon hebdomadaire n'ont pas été consommés. Cela a permis à l'escadrille d'augmenter la durée des missions qui est passée à deux heures de façon courante.

Parallèlement à tout cela, l'EHM3 a souffert d'un manque chronique de moniteur entraînant un retard de la formation des jeunes pilotes. Ce manque de moniteur a été comblé en mars avec la qualification de deux nouveaux moniteurs, dont le MO de l'évènement. Dans ce contexte, les moniteurs ont souhaité intensifier les vols d'instruction afin de qualifier rapidement les pilotes et rattraper le retard accumulé. La semaine de l'évènement, le PIL et le MO ont volé tous les jours. La veille, le moniteur a réalisé deux vols d'instruction de deux heures, dont un vol de nuit avec l'équipage de conduite de l'évènement. Dans de telles conditions conjuguées, une certaine fatigue chronique peut s'être installée au cours du temps. Cette fatigue peut avoir, en fin de vol après plus d'une heure d'un vol dense, conduit à une baisse de vigilance de l'équipage.

**Les modifications organisationnelles associées à la pandémie Covid-19 et à la mise en place du contrat de maintenance, ont pu favoriser une fatigue chronique au sein des équipages. Il est possible que cette fatigue ait induit une baisse d'attention de l'équipage en fin de vol ayant contribué à un défaut de contrôle ou une imprécision dans le pilotage.**

#### 2.3.4.5. Pression temporelle

La flotte Cougar de l'EHM3 est majoritairement entretenue par la société HU. Cette dernière a pour contrat de mettre à disposition un nombre minimum d'appareils disponibles par semaine avec un certain nombre d'heures de vol.

Lorsque le MO planifie son vol, il prévoit deux heures de vol et demande donc à la société de maintenance de lui mettre à disposition un hélicoptère avec au minimum deux heures de potentiel.

Lorsque le moniteur décide de réaliser l'exercice, il ne reste plus que 23 minutes de vol sur les deux heures prévues. Sachant qu'un exercice est prévu encore avant le transit, il ne peut être exclu qu'implicitement une pression temporelle a pu altérer les capacités cognitives du moniteur et contribuer à des oublis lors de l'exercice de panne simulée des deux alternateurs.

Cependant, aucune tension n'a été identifiée entre le régiment et la société extérieure. HU a toujours respecté son engagement et a été en mesure de répondre aux demandes du régiment lorsque ce dernier a exceptionnellement eu besoin d'heures supplémentaires sur une semaine.

De plus, aucune pression n'est imposée aux équipages pour respecter stricto sensu le temps prévu.

**Il ne peut être exclu qu'une pression temporelle implicite pour respecter les deux heures de potentiel allouées pour la mission a contribué à un défaut de contrôle du MO ou une imprécision dans le pilotage.**

#### 2.3.5. Actualisation de la conscience de situation

##### 2.3.5.1. Équipage à l'instruction

L'équipage de conduite est composé d'un pilote, d'un moniteur et d'un mécanicien volant. Le PIL est peu expérimenté, il a 77 heures de vol sur Cougar et 592 heures au total. Il a d'abord été pilote de Puma avant de commencer sa transformation sur Cougar en novembre 2019. Il est qualifié depuis début 2020 sur cet hélicoptère. En revanche, le MO est très expérimenté avec 2 060 heures sur Cougar et 3 251 heures au total. Il fait partie des plus anciens pilotes de l'escadrille et vient d'être breveté en tant que moniteur. Il est reconnu pour ses qualités pédagogiques à la fois par les pilotes expérimentés de l'escadrille, et également par les pilotes encore en formation. Par ailleurs, il a été désigné par le COMALAT en tant que référent Cougar.

Les équipages d'instruction sont particulièrement fragiles dans la répartition des tâches de contrôle. La forte différence d'expérience au sein de l'équipage peut conduire le pilote ou le mécanicien, encore peu expérimentés, à adopter une posture de contrôle passive concernant les décisions du moniteur.

Pour le pilote, le moniteur souhaite simplement lui montrer la réaction de l'hélicoptère dans le cas d'une panne des deux alternateurs et la réaction à adopter. L'emploi de ces termes indique une mise en retrait du pilote dans la manœuvre et notamment en ce qui concerne les prises de décision pour cet exercice.

Pour le MVAVT, cet exercice est le dernier de la séance et le contrôle des paramètres moteur est assuré par le MO. Il n'a pas de réaction lorsque les N1 des moteurs montent à 97% durant le stationnaire.

**Dans un cockpit d'instruction, la dissymétrie d'expérience peut favoriser une certaine passivité de la part du pilote et du mécanicien, ce qui peut conduire à un manque de contrôle des conditions de réalisation de l'exercice.**

#### 2.3.5.2. Expérience du PIL

La faible expérience du pilote sur Cougar a probablement contribué à l'absence de détection des indices de nature à reconsidérer l'exécution de l'exercice. L'importance de la tenue du stationnaire a été sous-évaluée par le pilote qui, quand le moniteur lui demande s'il est prêt, répond par l'affirmatif alors qu'il n'est pas encore en stationnaire stabilisé.

**Le manque d'expérience du PIL a probablement contribué à l'absence de détection d'indices, susceptibles de mener à reconsidérer la réalisation de l'exercice en fin de séance.**

#### 2.3.5.3. Procédure de panne des deux alternateurs

Les conséquences de l'aggravation de la panne des deux alternateurs présentés par le MO ne sont associées à aucune procédure officielle de l'ALAT. En l'absence d'une procédure standardisée, plusieurs dangers peuvent survenir. La procédure suivie peut être incomplète, imprécise ou encore non correctement ordonnée. Lors de cet événement, le MO a suivi une procédure officieuse construite au cours de son expérience et héritée d'une tradition « Cougar ». La procédure ainsi construite ne tient pas compte d'une analyse systématique du vent ou d'un contrôle du stationnaire. Ces éléments sont pourtant essentiels pour les exercices de panne réduisant la puissance disponible. Ces deux items ont été omis au profit de la surveillance de paramètres liés à l'exercice tels que les N1, la hauteur de sécurité et le taux de chute. L'absence d'une procédure officielle à suivre systématiquement, détaillant les points de contrôle de l'exercice, n'a pas permis d'alerter l'équipage sur ses oublis.

De façon plus générale, il n'existe pas de procédure officielle pour l'entraînement aux pannes du Cougar en escadrille.

**L'absence d'une procédure officielle ALAT sur l'exercice de fin de séance n'a pas permis à l'équipage de détecter et corriger les oublis de contrôle d'items de sécurité avant de commencer l'exercice.**

#### 2.3.6. Capitalisation de l'expérience

##### 2.3.6.1. Absence d'un manuel de sécurité exhaustif concernant les procédures de résolution des pannes

Il n'existe pas de manuel de sécurité regroupant les procédures de panne à l'exception des procédures de panne moteur que l'on retrouve dans le manuel d'exploitation du Cougar.

L'acquisition de compétences pour la gestion des pannes par les pilotes Cougar repose sur le partage d'expérience des pilotes plus expérimentés qui tiennent leur expérience de leurs aînés par transmission en l'absence d'un référentiel écrit. Ce système repose donc sur l'expérience des anciens. Un processus d'apprentissage peut être efficace dans des domaines d'expertises ponctuels, mais un manque de standardisation sur quasiment l'ensemble des pannes Cougar augmente significativement le risque d'un apprentissage partiel, voire incorrect. Ce risque est d'autant plus accentué que le nombre d'heures de vol d'entraînement diminue. Cette situation fragilise l'expérience des anciens ce qui rejaillit sur la qualité de la transmission vers les plus jeunes.

**L'absence d'une standardisation des compétences dans les procédures des pannes des pilotes Cougar présente un risque pour la sécurité aérienne.**

### 2.3.6.2. Sous-évaluation du risque de vortex

Le phénomène de vortex est connu des hélicoptéristes. Le PIL avait conduit un briefing « sécurité de vol » sur la thématique vortex le mois précédent. En revanche, très peu de pilotes l'ont expérimenté dans leur vie de pilote en activité opérationnelle. Le vortex dynamique reste encore plus mystérieux pour la plupart des pilotes qui n'en avaient jamais entendu parler.

Compte tenu de la faible probabilité d'occurrence de ce type d'évènement, une sous-évaluation du risque de vortex par l'équipage est possible.

**La rareté du phénomène rend le vortex imprévisible. Son apparition est à la fois insidieuse et souvent très rapide. Cela a contribué à une sous-évaluation du risque par l'équipage.**

### 2.3.6.3. Absence de simulateur

Pendant environ deux ans, le simulateur SHERPA, adapté pour les missions du Cougar NG, était indisponible. En conséquence, les équipages n'avaient pas eu accès à ce simulateur depuis de nombreux mois quand l'évènement s'est produit. Au jour de l'écriture du rapport, le simulateur n'a pas été remis en service pour l'entraînement des pilotes.

Si de nombreuses pannes sont simulées en vol, d'autres pour des raisons de maîtrise du risque d'accident sont préférentiellement réalisées au simulateur. En l'absence d'un simulateur opérationnel, les pilotes acquièrent par défaut ces compétences en vol.

**L'indisponibilité du simulateur opérationnel favorise la réalisation d'exercices de panne en vol qui auraient été préférentiellement réalisés au simulateur.**

### 2.3.6.4. Absence d'entraînement au vortex sur hélicoptère de manœuvre

L'entraînement en vol au phénomène de vortex n'est plus pratiqué dans l'ALAT à la fois pour des raisons de sécurité, mais aussi pour ne pas entamer le potentiel de la structure. Bien qu'une option vortex existe sur le simulateur Cougar du Luc, elle n'est pas représentative de la réalité et elle ne permet pas la réalisation de ce type d'exercice. Le simulateur n'implémente pas la complexité du phénomène. L'option est désactivée par les utilisateurs. En effet, lorsque ce mode est enclenché, la rentrée en vortex est systématique dès que la Vz est importante. Ne représentant pas la réalité, ce mode n'a pas d'intérêt en instruction et n'est jamais utilisé. Au cours de leur carrière, les équipages sont donc uniquement sensibilisés au risque d'un tel phénomène par des informations de sécurité des vols. Cette sensibilisation a été réalisée le mois précédant l'évènement, lors du briefing mensuel sur la sécurité des vols. Le PIL faisait partie des personnels navigants chargés de cette présentation au cours de laquelle les conditions d'entrée, les méthodes de sortie et les indices permettant de détecter une entrée en vortex (notamment les fortes vibrations en stationnaire) ont été rappelés.

Lors de l'évènement, les conditions d'entrée en vortex standard n'étaient pas réunies. L'équipage est entré en vortex dynamique, phénomène encore plus rare. Ce type de vortex se caractérise notamment par peu ou pas de signe précurseur comme les vibrations et un taux de chute nécessaire à sa création beaucoup plus faible.

**La connaissance du vortex par les pilotes d'hélicoptère de manœuvre est théorique, tandis que le vortex dynamique n'est pas connu. L'entraînement inexistant des équipages au phénomène de vortex ne leur permet pas d'acquérir des compétences sur la détection et la récupération de ce phénomène.**

## 2.4. Éléments de sécurité en lien avec l'évènement

### 2.4.1. Obsolescence de l'enregistreur de voix

Le Cougar de l'évènement n'est pas équipé de CVFDR. L'absence de cet équipement a rendu l'enquête plus délicate, car devant s'appuyer uniquement sur les témoignages et les expertises. Pourtant, en 2015, un avenant au marché de modernisation des Cougar des Armées avait prévu d'équiper de CVFDR tous les

hélicoptères Cougar rénovés. Au jour de l'évènement, seuls sept hélicoptères ont été équipés sur les 19 Cougar à rénover. Une obsolescence du mélangeur audio en début de production a fortement ralenti la production des kits de modification. La DGA et AH sont en discussion pour convenir d'une solution et pour établir un nouveau planning.

**Le Cougar de l'évènement n'est pas équipé d'un CVFDR à cause d'une obsolescence du mélangeur audio en début de production qui s'avère très préjudiciable pour un calendrier d'équipement raisonnable.**

#### 2.4.2. Circuit hydraulique

L'expertise a montré que le départ de feu est dû au déchirement d'une cloison pare-feu et à la projection du liquide hydraulique sur les moteurs. La fuite du liquide hydraulique s'est donc faite près du GTM toujours en fonctionnement. Malgré un point éclair et une température d'auto-inflammation élevés (250 °C et 380 °C), le liquide hydraulique H-537 s'est enflammé très rapidement au contact des parties motrices, une minute après la collision avec le sol.

**L'architecture du circuit hydraulique du Cougar n'est pas assez résiliente aux conséquences d'une collision avec le sol.**

#### 2.4.3. Tenue ignifugée

L'incendie s'est déclaré presque immédiatement dans la cellule après que l'aéronef a basculé sur le côté droit. Parmi les blessés graves, un personnel a été gravement brûlé. Durant son évacuation, il a dû enlever son pantalon de treillis toujours en feu. En effet, sa tenue n'est pas ignifugée et cela a aggravé ses blessures. La culture de l'armée de Terre privilégie le port de la tenue du combattant en toutes circonstances. Une circulaire autorise le port du treillis durant les missions en vol de l'ALAT. Le MO est le seul membre d'équipage à porter une combinaison de vol.

**Un seul membre d'équipage sur sept portait une combinaison de vol. La culture de l'armée de Terre privilégie le port du treillis de combat y compris en vol. En entraînement en particulier, la qualité ignifugée d'une tenue autorisée en vol doit prévaloir sur le reste.**

#### 2.4.4. Siège anti-crash

Le Cougar est équipé de trois sièges anti-crash capables d'absorber une grande quantité d'énergie à l'impact dans le cas d'un atterrissage brutal. Ce sont les trois sièges de l'équipage de conduite dont les blessures sont les moins graves. Des sièges « troupes » sont installés dans le cargo du Cougar. Ils sont utilisés par les autres membres de l'équipage et n'ont pas de qualité particulière.

**Seuls les sièges de l'équipage de conduite ont la qualité anti-crash.**

#### 2.4.5. Tableau de commande du MVAVT

La blessure du MVAVT prouve qu'il n'était pas complètement sanglé au moment de l'impact de l'hélicoptère avec le sol. C'est une situation courante, voire normale sur Cougar. En effet, les tableaux de commande sont à une distance trop importante pour être accessibles par le mécanicien durant le vol si ce dernier est complètement attaché. Il est obligé de se détacher partiellement pour pouvoir utiliser les tableaux de commande.

**Les tableaux de commande ne sont pas utilisables par le MVAVT lorsque ce dernier est complètement attaché à son siège.**

#### 2.4.6. Organisation des secours

La façon dont les secours aériens se sont organisés présente le désavantage de ne pas avoir été supervisée dès le début par l'ARCC de Lyon, coordonnateur officiel des moyens aériens de secours, faute de l'avoir informé à temps. Or, il est de la responsabilité de chaque équipage de secours de s'assurer qu'il s'engage en toute sécurité pour porter secours, hors de toute situation de suraccident potentiel. Dans les circonstances de l'accident du Cougar, cela n'a pas été le cas. Au total, six hélicoptères évolueront autour de la zone d'accident. Quatre hélicoptères engagés pour les secours seront posés près de la zone : Dragon 64 de la sécurité civile, Choucas 65 de la gendarmerie, SMUR 31<sup>16</sup> du SAMU des Hautes-Pyrénées et le Caracal SAR. Le Caracal du 4<sup>e</sup> RHFS atterrira sur zone également pour apporter son soutien à l'équipage. Le sixième aéronef est un hélicoptère de la section aérienne de gendarmerie de Bordeaux qui effectuera une reconnaissance aérienne. L'ARCC Lyon est le coordonnateur officiel des moyens aériens de secours. Il ne sera informé de l'accident que 20 minutes après l'évènement. À ce moment, les hélicoptères de la gendarmerie et de la sécurité civile sont déjà en route vers Bouilh-Devant et ils se mettent alors en contact avec l'ARCC.

Le Caracal SAR engagé par l'ARCC arrivera sur site à 18h22, les victimes en état d'urgence absolue sont déjà en cours de rapatriement sanitaire par voie aérienne. Il repartira une demi-heure plus tard en direction de Cazaux.

L'hélicoptère du SMUR 31 et le Caracal du 4<sup>e</sup> RHFS n'ont jamais été coordonnés par l'ARCC.

La fréquence 121,500 MHz est la fréquence identifiée dans l'annexe 10 à la Convention relative à l'aviation civile internationale « Télécommunication aéronautique » de l'OACI pour les missions SAR.

Aucun aéronef engagé dans cet accident n'a utilisé cette fréquence.

**Les hélicoptères qui ont été engagés pour la mission de secours n'ont pas tous été coordonnés par l'ARCC de Lyon. De plus, la présence de six hélicoptères sur la zone de l'accident présente un risque de suraccident certain.**

**La fréquence auxiliaire SAR de l'OACI n'a pas été utilisée.**

#### 2.4.7. Balise de détresse

L'expertise a montré que la balise de détresse est fonctionnelle. Cependant, son antenne a été arrachée pendant l'accident, ce qui a empêché l'émission d'un signal de détresse. Un simple câble coaxial relie la balise à son antenne. Située au niveau du cadre 9000, dans le cargo, cette conception est sensible aux déformations de la structure arrière. Cette intégration n'est pas assez robuste pour continuer à émettre après un accident survivable comme celui de l'évènement, ce qui est la principale fonction de la balise de détresse.

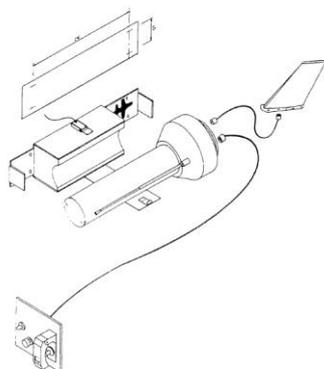


Figure 37 : intégration de la balise de détresse

<sup>16</sup> SMUR 31 : structure mobile d'urgence et réanimation du SAMU du centre hospitalier universitaire de Toulouse.

Le MO est parti en vol avec une balise de détresse portative. Durant la séance, elle a été mise dans une sacoche rangée dans le cockpit. Le MO a abandonné cette balise durant l'évacuation et elle a été détruite par l'incendie.

**L'intégration de la balise de détresse du Cougar n'est pas assez robuste aux conséquences d'une situation d'impact avec le sol.  
Une balise de détresse portative est restée dans l'aéronef durant l'évacuation et détruite par l'incendie.**

### 3. CONCLUSION

L'évènement est une perte de contrôle en vortex dynamique au cours d'un exercice de simulation de panne aboutissant à une collision à haute énergie avec le sol.

#### 3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement

À la fin d'une séance de qualification opérationnelle sur un hélicoptère Cougar du 5<sup>e</sup> régiment d'hélicoptères de combat de Pau, un exercice d'entraînement aux procédures de panne électrique est réalisé par le moniteur chef de bord durant un stationnaire en cours de stabilisation par vent arrière. Dès que le moniteur baisse le pas général et que le pilote rend la main conformément à l'exercice prévu, l'hélicoptère rentre en vortex et tombe verticalement dans un champ labouré de Bouilh-Devant. Le circuit hydraulique est endommagé suite au renversement sur le flanc droit de l'hélicoptère. La bêche hydraulique gauche est perforée, de nombreuses tuyauteries présentes dans la structure arrière sont arrachées. Le liquide hydraulique s'enflamme au contact de parties chaudes des moteurs. En quelques minutes, le feu s'étend à tout l'aéronef. On dénombre deux décès consécutifs à l'incendie, trois blessés graves et deux blessés légers. L'hélicoptère est complètement détruit par l'incendie.

#### 3.2. Causes de l'évènement

La cause principale de l'accident est l'absence de conscience par l'équipage que l'exercice se réalise dans les conditions du vortex dynamique, phénomène insidieux difficile à détecter et aux conséquences souvent mal maîtrisées. Les conditions du vent évoluent peu de temps avant la réalisation de l'exercice et le vent s'établit par l'arrière de l'hélicoptère avec une force supérieure à 5 kt.

L'approche systémique montre un processus de capitalisation en cours de maturation dans l'organisme qui n'a pas permis d'éviter l'accident par :

- l'absence de standardisation à l'entraînement aux procédures de pannes utilisables en instruction ;
- une sous-évaluation du risque de vortex liée à une faible occurrence du phénomène, une connaissance uniquement théorique par les pilotes et un vortex dynamique moins connu ;
- un simulateur pour la famille Cougar et Puma, en panne depuis de nombreux mois ;
- une impossibilité de s'entraîner au phénomène de vortex, en réel ou en simulateur.

La perception erronée de la situation a été favorisée par plusieurs facteurs :

- l'absence de perception par l'équipage des informations concernant l'évolution du vent et l'évaluation de la tenue du stationnaire ;
- la sous-évaluation du risque par l'équipage de réaliser l'exercice au moment de la stabilisation du stationnaire ;
- des ressources attentionnelles peu disponibles pour lesquelles une baisse d'attention temporaire peut avoir contribué à un défaut de contrôle dû à :
  - une charge cognitive importante pour le pilote ;
  - un exercice perçu par le moniteur comme simple en fin de vol ;
  - un excès de confiance vis-à-vis du pilote de la part du moniteur ;
  - un contexte à l'origine d'une fatigue des équipages ;
  - une pression temporelle liée à l'approche de la fin du potentiel alloué pour le vol.

L'équipage n'a pas su ou pu mettre à jour sa conscience de la situation pour les raisons suivantes :

- un équipage à l'instruction ne facilitant pas les initiatives du pilote et du MVAVT ;
- un pilote peu expérimenté sur Cougar ne détectant pas ses écarts de pilotage ;
- un moniteur dont l'expérience à l'instruction en qualité de moniteur est récente malgré son expérience opérationnelle ;
- l'absence de procédure officielle ALAT concernant l'entraînement à la procédure de la panne simulée des deux alternateurs ;
- conjugué à un manque de connaissance du cas spécifique du vortex dynamique.

PAS DE TEXTE

## 4. RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

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

#### 4.1.1. Manuel de sécurité

Sur Cougar dans l'ALAT, à l'exception des exercices concernant les procédures de panne moteur décrites dans le manuel d'exploitation, il n'existe pas de procédure officielle et exhaustive pour l'entraînement aux pannes.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à toutes les autorités d'emploi de formaliser les entraînements aux procédures de pannes en intégrant la gestion des risques opérationnels ou de vérifier son application systématique à tous les entraînements aux procédures de pannes.**

**R1** – [T-2020-03-A] *Destinataires : CEMAT, CEMAAE, CEMM, DGA EV, DGDDI, DGGN, DGSCGC*

#### 4.1.2. Exercice par vent arrière

L'enquête a démontré que la réalisation de l'exercice en vent arrière est une cause racine de l'accident. L'évaluation de la force et du sens du vent devrait être une opération réalisée systématiquement par les équipages dès lors que la procédure comporte un stationnaire ou une procédure avec une perte de hauteur et même lorsque la dernière mise à jour des paramètres du vent a été faite peu de temps avant.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à toutes les autorités d'emploi de sensibiliser les équipages d'hélicoptère sur la nécessité d'évaluer le sens et la force du vent juste avant la réalisation de tout exercice comportant un stationnaire ou une perte de hauteur.**

**R2** – [T-2020-03-A] *Destinataires : CEMAT, CEMAAE, CEMM, DGA EV, DGDDI, DGGN, DGSCGC*

**à toutes les autorités d'emploi de sensibiliser les équipages d'hélicoptère dans les programmes de formation sur les risques d'évolution en basse hauteur, en basse vitesse, en forte puissance et en secteur vent arrière.**

**R3** – [T-2020-03-A] *Destinataires : CEMAT, CEMAAE, CEMM, DGA EV, DGDDI, DGGN, DGSCGC*

#### 4.1.3. Stationnaire en cours de stabilisation

L'enquête a démontré que la réalisation de l'exercice de panne durant un stationnaire en cours de stabilisation est une cause racine de l'accident.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à toutes les autorités d'emploi de sensibiliser les équipages de conduite d'hélicoptère de bien attendre la stabilisation du stationnaire avant de commencer tout exercice conduisant à une perte de hauteur.**

**R4** – [T-2020-03-A] *Destinataires : CEMAT, CEMAAE, CEMM, DGA EV, DGDDI, DGGN, DGSCGC*

#### 4.1.4. Système de bord du Cougar NG

Depuis la rénovation du Cougar, un indicateur de vent est affiché en permanence sur le système de bord. Aucun des membres de l'équipage de conduite n'a eu le réflexe de vérifier cette information avant la simulation de la panne.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de Terre d'insister durant les formations Cougar NG sur l'intérêt de l'exploitation de l'indicateur visuel du vent du système de bord, avant la réalisation de toute procédure.**

**R5** – [T-2020-03-A] *Destinataire : CEMAT*

#### 4.1.5. Vortex

Le Cougar est rentré en vortex, ce qui a provoqué une chute rapide dont il était impossible de s'extraire par manque de hauteur. Le phénomène de vortex, bien que connu des hélicoptéristes, a une occurrence extrêmement faible qui peut conduire à une sous-évaluation du risque d'apparition. La connaissance du vortex par les pilotes est théorique et l'entraînement est inexistant. Pour des raisons de sécurité, le vortex n'est jamais pratiqué sur hélicoptère ni en escadrille ni en formation initiale. Les simulateurs utilisés par les Armées ne sont pas aujourd'hui capables de reproduire fidèlement le phénomène.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à la DGA d'étudier la possibilité de reproduire fidèlement la simulation du phénomène de vortex dynamique au profit de la formation des équipages.**

**R6** – [T-2020-03-A] *Destinataire : DGA AT*

**à la DGA EV en liaison avec les autorités d'emploi d'étudier un programme de sensibilisation au vortex dynamique à l'attention des pilotes étatiques.**

**R7** – [T-2020-03-A] *Destinataire : DGA EV*

#### 4.1.6. Cockpit resource management<sup>17</sup>

La dissymétrie d'expérience entre le moniteur, le pilote et le MVAVT ne fait pas l'objet d'un thème spécifique durant les conférences « *cockpit resource management* » dans les unités. Aujourd'hui, l'IRBA préconise aux différents instructeurs de prendre en compte les spécificités de leur escadrille pour rendre plus attractives les conférences.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'IRBA d'étudier le thème de la passivité au sein d'un programme spécifique CRM pour les équipages en instruction.**

**R8** – [T-2020-03-A] *Destinataire : IRBA*

#### 4.1.7. Gestion de la fatigue

Il n'existe pas de cadre formel pour la gestion de la fatigue des équipages dans l'ALAT. Le manuel d'exploitation de l'ALAT précise que le commandement veille et contrôle la désignation des équipages en fonction de leur état de fatigue générale. Une évaluation individuelle de sa propre fatigue est également faite par l'équipage. Ces deux évaluations montrent régulièrement leurs limites dans les événements de sécurité aérienne s'ils ne font pas l'objet d'un cadrage minimal. L'appui de l'IRBA sur ce sujet est envisageable.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de Terre en lien avec l'IRBA de formaliser un processus de gestion de la fatigue des équipages.**

**R9** – [T-2020-03-A] *Destinataire : CEMAT*

<sup>17</sup> La gestion des ressources du cockpit est un ensemble de procédures de formations aux facteurs humains et organisationnelles inhérent au pilotage en équipage.

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

### 4.2.1. Tenue de l'équipage

Les équipages de l'armée de Terre n'ont pas l'obligation de porter des tenues ignifugées en vol. Profondément ancrés dans leur culture, beaucoup de pilotes préfèrent utiliser un treillis de combat plutôt qu'une combinaison de vol. Ce choix est légitime sur les théâtres extérieurs où le treillis de combat peut être plus adapté. En France et en particulier pour les missions d'instruction, la tenue de tout l'équipage devrait être ignifugée.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de Terre de prioriser les dotations en tenues F3 thermostable au profit des équipages de l'ALAT.**

**R10** – [T-2020-03-A] *Destinataire : CEMAT*

### 4.2.2. Circuit hydraulique et cloison pare-feu

L'inflammation du liquide de circuit hydraulique sur des parties chaudes des moteurs a causé l'incendie qui a détruit l'aéronef. Les bâches hydrauliques sont situées juste derrière l'échappement des moteurs avec une simple cloison pare-feu positionnée entre les deux. Déchirée dans l'accident, une des cloisons n'a plus assuré sa fonction de ségrégation, ce qui a contribué au départ de feu.

La définition globale du circuit hydraulique du Cougar n'est pas assez robuste dans le cas d'un accident survivable comme celui de l'évènement.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à la DGA et à Airbus Helicopters de capitaliser l'expérience de cet accident pour faire évoluer les normes de certification des circuits hydrauliques des hélicoptères.**

**R11** – [T-2020-03-A] *Destinataires : DGA AT, AH*

### 4.2.3. Siège anti-crash

Les seuls sièges du Cougar qui ont la qualité anti-crash sont ceux de l'équipage de conduite qui a eu les blessures les moins graves. Les autres membres de l'équipage dont l'exposition au risque d'accident est presque aussi importante devraient bénéficier de sièges capables d'absorber les chocs en cas d'atterrissage brutal.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à la DGA d'étudier l'intégration de sièges absorbeurs de chocs en cas d'atterrissage brutal au profit des membres d'équipage présents dans le cargo en lieu et place des sièges « troupes ».**

**R12** – [T-2020-03-A] *Destinataire : DGA AT*

### 4.2.4. Panneaux de commande

La distance des panneaux de commande oblige le MVAVT à se dessangler pour pouvoir les atteindre et les utiliser. L'ergonomie de ces panneaux n'a pas été pensée pour être utilisée par un troisième membre d'équipage assis légèrement en retrait par rapport aux pilotes. Au moment de l'exercice, le MVAVT n'est pas totalement attaché à son siège, ce qui est à l'origine de blessures supplémentaires.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à la DGA, en liaison avec l'armée de Terre, d'étudier une évolution des harnais de sécurité du siège MVAVT pour améliorer l'ergonomie de sa position de travail.**

**R13** – [T-2020-03-A] *Destinataires : DGA, CEMAT*

#### 4.2.5. Gestion des secours

Les secours sont arrivés rapidement sur la zone malgré le mauvais fonctionnement du système de détresse. Ils ont pu bénéficier des informations des nombreux témoins de l'accident pour trouver le site. Tous les hélicoptères qui ont été engagés pour la mission de secours n'ont pas été coordonnés par l'ARCC de Lyon.

Or le décret n° 2014-1253 du 27 octobre 2014, confie la coordination de toutes les missions SATER à ce centre de l'armée de l'Air et de l'Espace. La présence de six hélicoptères sur la zone de l'accident n'était pas nécessaire et a présenté un risque de suraccident.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à toutes les autorités d'emploi et aux SAMU de rappeler à leurs organismes impliqués dans une mission SATER que le seul coordonnateur est l'ARCC de Lyon-Mont Verdun.**

**R14** – [T-2020-03-A] *Destinataires : DGOS, CEMAT, CEMAAE, CEMM, DGA EV, DGDDI, DGGN, DGSCGC*

Ni la fréquence auxiliaire SAR de l'OACI ni le numéro d'appel d'urgence aéronautique 191 de l'ARCC n'ont été utilisés durant la mission de sauvetage par les aéronefs qui n'étaient pas coordonnés par l'ARCC.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à la l'armée de l'Air et de l'Espace de mettre à jour l'information aéronautique militaire pour préciser la fréquence auxiliaire SAR 123,100 MHz et le numéro d'urgence aéronautique 191 des missions SATER.**

**R15** – [T-2020-03-A] *Destinataire : CEMAAE*

#### 4.2.6. Balise de détresse

La balise de détresse a une réelle utilité lors d'un accident grave avec des survivants. Elle doit être opérationnelle après de tels événements. Or l'antenne de la balise de détresse a été arrachée durant l'accident, ce qui a empêché l'émission du signal. Comme lors de nombreux accidents, ce fait est récurrent et tend à rendre inutile la présence de balises de détresse fixes mais non robustes à bord des aéronefs, alors que les balises portatives (PLB) semblent davantage en capacité à être exploitées après les accidents. Une double action est donc nécessaire sur ce sujet, l'une structurelle à terme, l'autre plus immédiate au profit des équipages.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à Airbus Helicopters et à la DGA d'étudier une évolution de la définition de la balise de détresse pour rendre l'ensemble balise/antenne plus robuste.**

**R16** – [T-2020-03-A] *Destinataires : AH, DGA AT*

**à toutes les autorités d'emploi de fournir à leurs équipages des balises de détresse portative individuelle.**

**R17** – [T-2020-03-A] *Destinataires : CEMAT, CEMAAE, CEMM, DGA EV, DGDDI, DGGN, DGSCGC*

#### 4.2.7. Enregistreurs de vol

La trajectoire de l'aéronef a été reconstituée grâce aux témoignages et aux vidéos. Bien qu'un contrat a été passé pour équiper cet aéronef d'un enregistreur de vol, il n'en avait pas au moment de l'évènement. Une obsolescence de composant a perturbé l'exécution du marché qui était encore bloqué au jour de l'accident.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à Airbus Helicopters de consolider les processus d'acquisition et de suivi d'obsolescence des matériels, tout particulièrement ceux en lien avec la sécurité des aéronefs.**

**R18** – [T-2020-03-A] *Destinataire : AH*

**à l'armée de Terre et à la DGA de terminer l'acquisition et l'installation d'enregistreurs de vol durcis suivant la norme ED-112 sur les hélicoptères Cougar.**

**R19** – [T-2020-03-A] *Destinataires : CEMAT, DGA AT*

PAS DE TEXTE