

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

## Rapport d'enquête de sécurité



T-2019-15-A

Date de l'évènement  
Lieu  
Types d'appareils  
Organisme

25 novembre 2019  
Ouest de Ménaka (Mali)  
Tigre HAD et Cougar NG  
Armée de Terre

## AVERTISSEMENT

### UTILISATION DU RAPPORT

L'unique objectif de l'enquête de sécurité est la prévention des accidents et incidents sans détermination des fautes ou des responsabilités. L'établissement des causes n'implique pas la détermination d'une responsabilité administrative civile ou pénale. Dès lors, toute utilisation totale ou partielle du présent rapport à d'autres fins que son but de sécurité est contraire à l'esprit des lois et des règlements et relève de la 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 malienne (UTC<sup>1</sup>+0).

---

## CRÉDITS

		Page de garde
Figure 1	Armée de Terre BEA-É et source internet	8
Figures 2 à 5	RESEDA et <i>Google Earth</i>	9 à 11
Figure 6	BEA-É	17
Figure 7	BEA-É et <i>Google Earth</i>	18
Figures 8 à 12	Armée de Terre	18 à 20
Figure 13	Ministère des Armées	25
Figure 14	BEA-É et Airbus	31
Figures 15 et 16	RESEDA et BEA-É	31 et 32
Figure 17	BEA-É	32
Figure 18	Coulson Aviation / Nexvision	37

---

<sup>1</sup> UTC : temps universel coordonné.

## TABLE DES MATIÈRES

GLOSSAIRE .....	4
SYNOPSIS.....	5
1. Renseignements de base .....	7
1.1. Déroulement du vol.....	7
1.2. Dommages corporels.....	11
1.3. Dommages aux aéronefs .....	11
1.4. Autres dommages .....	11
1.5. Renseignements sur les équipages.....	12
1.6. Renseignements sur les aéronefs.....	15
1.7. Conditions météorologiques .....	16
1.8. Aides à la navigation .....	16
1.9. Télécommunications .....	17
1.10. Enregistreurs de bord.....	17
1.11. Constatations sur les aéronefs et sur les zones d'impact.....	18
1.12. Renseignements médicaux des membres d'équipage .....	21
1.13. Incendie .....	22
1.14. Organisation des secours .....	22
1.15. Essais et recherches .....	22
1.16. Renseignements sur les organismes.....	23
1.17. Renseignements supplémentaires .....	23
2. Analyse.....	27
2.1. Résultats des expertises .....	27
2.2. Séquence de l'évènement .....	34
2.3. Recherche des causes de l'évènement.....	34
3. Conclusion .....	45
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement .....	45
3.2. Causes de l'évènement .....	45
4. Recommandations de sécurité .....	47
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement .....	47
4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement .....	52
ANNEXE.....	53

## GLOSSAIRE

ALAT	Aviation légère de l'armée de Terre
AMC	<i>Air mission commander</i> , commandant de mission aérienne
CEMPN	Centre d'expertise médicale du personnel navigant
CRM	<i>Crew resource management</i> , gestion des ressources équipage
CVFDR	<i>Cockpit voice and flight data recorder</i> , enregistreur de voix et de données de vol
DF	<i>Direction finder</i> , radiogoniomètre
DGA	Direction générale de l'armement
DGA EP	Direction générale de l'armement – Essais propulseurs
DGA TA	Direction générale de l'armement – Techniques aéronautiques
EALAT	École de l'aviation légère de l'armée de Terre
ft	<i>Feet</i> , pieds (1 pied vaut environ 30,48 cm)
GTD-A	Groupement tactique désert – aérocombat
HAD	Hélicoptère appui-destruction
HAP	Hélicoptère appui-protection
HF	<i>High frequency</i> , haute fréquence
hPa	Hectopascal
IMEX	<i>Immediate extraction</i> , extraction immédiate
IRBA	Institut de recherche biomédicale des armées
JFAC AFCO	<i>Joint force air command</i> Afrique centrale et de l'ouest, commandement de la composante air de la force interarmées Afrique centrale et de l'ouest
JTAC	<i>Joint terminal attack controller</i> , contrôleur avancé d'attaque interarmées
JVN	Jumelles de vision nocturne
kt	<i>Knot</i> , nœud (1 nœud vaut environ 1,852 km par heure)
MOS	Membre opérationnel de soute
MVAVT	Mécanicien volant d'aéronef à voilure tournante
NG	Nouvelle génération
NM	<i>Nautical mile</i> , mille marin ou nautique (1 nautique vaut environ 1,852 km)
OTAN	Organisation du traité de l'Atlantique nord
PCB	Pilote commandant de bord
PR4G	Poste radio de quatrième génération
QNH	Valeur de la pression atmosphérique au niveau de la mer
RESEDA	Restitution des enregistreurs d'accidents
RHC	Régiment d'hélicoptères de combat
TACAN	<i>Tactical air navigation</i> , système de navigation aérienne tactique
VMP	Visite médicale périodique
VSU	Visite semestrielle en unité
ZA	Zone d'action

## SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 25 novembre 2019 à 18h35

Lieu de l'évènement : ouest de Ménaka (Mali)

Organisme : armée de Terre

Commandement organique : commandement de l'aviation légère de l'armée de Terre (COMALAT)

Commandement opérationnel : force Barkhane

Unité : groupement tactique désert – aérocombat (GTD-A)

Aéronefs : Tigre HAD<sup>2</sup> immatriculé F-MBJQ et Cougar NG<sup>3</sup> immatriculé F-MCGE

Nature du vol : mission de combat

Nombre de personnes à bord : 2 dans le Tigre, 11 dans le Cougar

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

Des troupes au sol de la force Barkhane situées dans la région du Liptako à l'ouest de Ménaka demandent une succession de renforts aériens suite à un accrochage avec un groupe armé terroriste.

Une patrouille de deux hélicoptères Gazelle décolle sur alerte de la base avancée de Ménaka, suivie d'un hélicoptère Cougar embarquant six commandos et un *air mission commander* (AMC, commandant de mission aérienne). Par ailleurs, une patrouille de deux hélicoptères Tigre est envoyée en renfort depuis Gao. Les Gazelle arrivent sur les lieux peu après la tombée de la nuit et interviennent sur la zone indiquée par les troupes au sol, au nord d'un incendie de plusieurs dizaines d'hectares déclenché par les combats au sol. Le Cougar se positionne au nord-est de cette zone.

La patrouille de Tigre arrive plus tard et se sépare en deux. Le leader vient orbiter au-dessus des deux Gazelle au nord de l'incendie à une altitude d'environ 3 000 pieds (ft). L'ailier vient survoler les troupes françaises au sud. Le Cougar s'annonce à 8 nautiques (NM) au nord-est de la zone d'action, à 3 200 ft d'altitude.

Quelques minutes plus tard, le leader Tigre et le Cougar s'abordent en vol. Tous les occupants décèdent et les hélicoptères sont détruits.

### 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 du BEA-É ;
- un expert technique du BEA-É ;
- un pilote ayant une expertise sur Tigre ;
- un mécanicien ayant une expertise sur Tigre ;
- un pilote 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)/division évaluation des systèmes aéropropulsifs (DESA) ;
- 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) ;
- institut de recherche biomédicale des armées (IRBA) ;
- Hensoldt Sensors GmbH.

---

<sup>2</sup> HAD : hélicoptère appui-destruction.

<sup>3</sup> NG : nouvelle génération.

PAS DE TEXTE

## 1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

### 1.1. Déroulement du vol

#### 1.1.1. Mission

##### 1.1.1.1. Mission du Tigre

Type de vol : opérationnel

Type de mission : appui aérien

Dernier point de départ : Gao (Mali)

Heure de départ : 17h37

Point d'atterrissage prévu : Gao

##### 1.1.1.2. Mission du Cougar

Type de vol : opérationnel

Type de mission : commandement aéroporté et capacité IMEX<sup>4</sup>

Dernier point de départ : Ménaka (Mali)

Heure de départ : 17h40

Point d'atterrissage prévu : Ménaka

#### 1.1.2. Déroulement

##### 1.1.2.1. Contexte de la mission

Le mandat du GTD-A, commençant fin septembre 2019, est tenu par le 5<sup>e</sup> régiment d'hélicoptères de combat (RHC) pour une durée de quatre mois. Les équipages de ce régiment sont pour la grande majorité arrivés à Gao dès le début de ce mandat et volent ensuite en équipage constitué<sup>5</sup>. Certains personnels sont remplacés à la relève de mi-mandat fin novembre ; ainsi le pilote du Tigre et le mécanicien aéronef du Cougar sont arrivés au Mali quelques jours avant l'évènement. Comme tous les équipages, ils ont réalisé plusieurs vols après leur arrivée pour valider leur qualification opérationnelle sur le théâtre.

Les opérations de la force Barkhane en cours fin novembre 2019 nécessitent d'avoir une capacité d'appui aérien disponible rapidement dans la région de Ménaka. Cette région étant assez éloignée de la base principale du GTD-A à Gao, un détachement du GTD-A est positionné sur la base opérationnelle avancée de Ménaka pour y être opérationnel à partir du 19 novembre. Ce détachement comprend notamment une patrouille de deux hélicoptères Gazelle et un hélicoptère de manœuvre Cougar. Le 25 novembre 2019, ces hélicoptères sont en alerte à Ménaka.

##### 1.1.2.2. Préparation du vol

Sur le camp de Gao, une patrouille de deux hélicoptères Tigre est placée en alerte également. La journée commence par le briefing à l'ensemble des équipages. Lors de ce briefing, il est rappelé les missions de tous les équipages et la situation tactique des opérations en cours dans la région, en appui desquelles le GTD-A peut être amené à intervenir. La très bonne météo prévue pour la journée ne présente aucune difficulté particulière ni d'évolution prévisible et n'amène donc aucune réactualisation des éléments du briefing en cours de journée. Les deux équipages des Tigre participent à une première mission de 1h10 en début d'après-midi, puis reviennent se poser à Gao en attendant un éventuel nouveau déclenchement de mission.

Sur la base opérationnelle avancée de Ménaka, le briefing pour la journée du 25 novembre a été fait la veille au soir, à l'aide des éléments fournis par le GTD-A à Gao. Aucune évolution tactique ou météo n'est prévue pour la journée du 25 novembre. Compte tenu de son activité réduite les jours précédents, le détachement a planifié pour le soir du 25 novembre un vol d'entraînement pour l'équipage du Cougar, avec à son bord en soute le chef de détachement du GTD-A à Ménaka afin de lui permettre de se perfectionner dans l'utilisation de la caméra optronique du Cougar. Durant le reste de la journée, les équipages vaquent à leurs occupations au sol en attendant une éventuelle alerte. Alors que la plupart d'entre eux sont en séance de sport, les équipages sont avertis peu après 17h d'une demande d'appui aérien de troupes au sol.

---

<sup>4</sup> IMEX : *immediate extraction* (extraction immédiate), consiste en cas d'accident ou de dommage de combat imposant un posé d'urgence à récupérer au sol un équipage d'aéronef au plus tôt, afin de l'évacuer de la zone de combat.

<sup>5</sup> Équipage constitué : équipage qui n'est pas modifié à chaque vol mais qui reste le même pour un ensemble de missions.

Les équipages des Gazelle se préparent donc à partir en vol, les pilotes commandants de bord (PCB) allant prendre les ordres au centre des opérations.

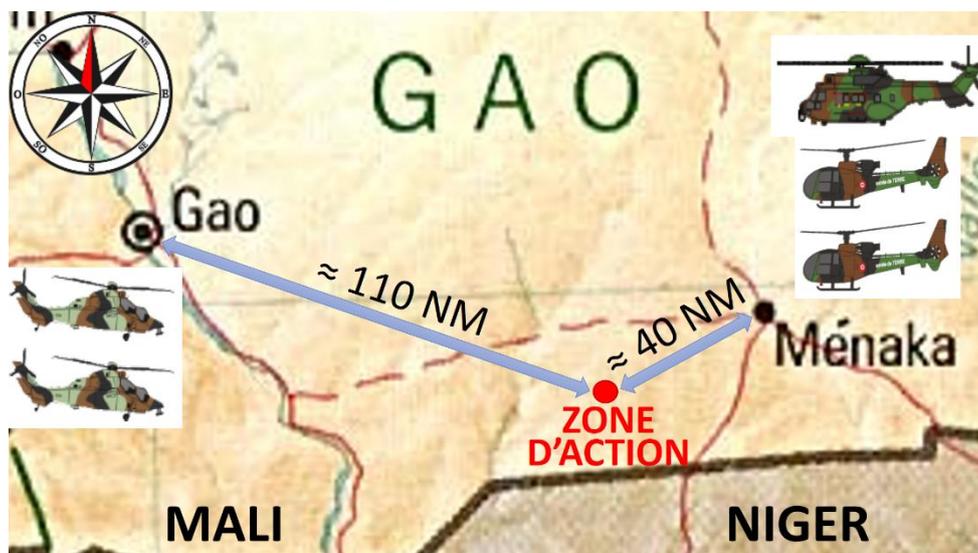


Figure 1 : carte de la position initiale des hélicoptères par rapport à la zone d'action

Suite à leur contact avec l'ennemi, les troupes au sol demandent également le déclenchement de l'alerte de Gao. Les équipages des Tigres reçoivent à 17h17 cette demande de départ sur alerte pour appuyer ces troupes françaises prises sous le feu ennemi. Les deux pilotes préparent les aéronefs avec l'aide des mécaniciens pendant que les deux PCB récupèrent les consignes et la situation tactique au centre des opérations. Ils obtiennent ainsi les coordonnées des troupes françaises au sol et un bref résumé de la situation.

Ainsi le nombre d'hélicoptères prévu sur la zone (quatre) est supérieur au nombre d'aéronefs que peut gérer un chef de patrouille seul. Le GTD-A ordonne donc de faire aussi décoller le Cougar de Ménaka avec à son bord le chef de détachement pour qu'il assure le rôle d'AMC. Le Cougar embarque également en soute un groupe de six commandos afin de pouvoir assurer la mission éventuelle d'extraction d'un équipage en cas de dommage de guerre ou de panne (IMEX). Avant de partir, le chef de patrouille Gazelle briefe son ailier et le PCB du Cougar sur le plan de fréquences prévu pour les échanges radio entre les hélicoptères. N'ayant pas de station météorologique, les aéronefs au départ de Ménaka utilisent un calage altimétrique à 1 013 hectopascal (hPa).

En synthèse, de Ménaka partent : la patrouille de Gazelle à 17h31 et le Cougar à 17h40. La patrouille de Tigre décolle à 17h37 de Gao. De plus, une patrouille d'avions de chasse, qui était aussi en alerte, se prépare au départ depuis Niamey (Niger).

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

Les aéronefs partent en vol vers les coordonnées indiquées, feux éteints à l'exception des feux de formation<sup>6</sup>. Pendant le trajet, le chef de patrouille Gazelle demande la fréquence de contact du JTAC (*joint terminal attack controller*, contrôleur avancé d'attaque interarmées) des troupes au sol, que lui donne l'AMC. La nuit tombant et étant très sombre, les membres d'équipage de conduite mettent en fonctionnement leurs jumelles de vision nocturne (JVN) pendant le transit, avant d'arriver sur la zone. La patrouille de Tigre monte vers une altitude de 1 800 ft au bout de 15 minutes de vol afin de mieux capter les échanges radios. En fin de transit, les Gazelle montent entre 1 500 ft et 2 000 ft et le Cougar à 3 000 ft.

La patrouille de Gazelle arrive en premier sur les lieux vers 17h50 et prend contact avec le JTAC. Elle repère immédiatement un vaste incendie, déclenché par les tirs des troupes françaises au sol, au nord d'un *wadi*<sup>7</sup>, les troupes au sol étant au sud de ce *wadi* (cf. figure 2). Le Cougar arrive vers 18h depuis le nord-est, où il annonce sa position. Puis il continue vers le sud-ouest et la zone incendiée en suivant le *wadi* pour essayer de repérer des ennemis qui se seraient enfuis le long de celui-ci.

<sup>6</sup> Les feux de formation sont détaillés au paragraphe 1.17.6.

<sup>7</sup> Un *wadi* est une petite vallée humide dans une zone aride.

La patrouille Gazelle repère un point d'intérêt au nord de cet incendie sur les indications des troupes au sol et fait des repérages sur ce point d'intérêt, appelé zone d'action (ZA) par les équipages. Pendant ce temps, le Cougar survole les troupes françaises pour surveiller leurs environs.

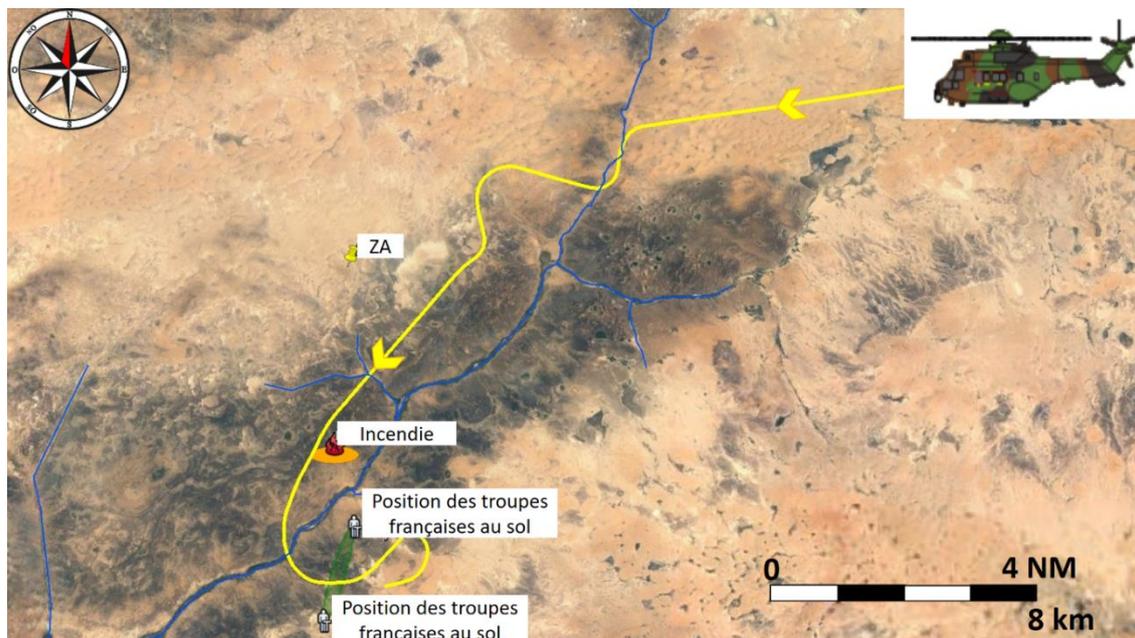


Figure 2 : représentation des positions des troupes au sol, de la ZA et des évolutions du Cougar à son arrivée sur zone

À 18h11, le Cougar retourne au nord de l'incendie sur demande du leader Gazelle pour observer la ZA en détail avec sa boule optronique. À 18h15, le leader Tigre annonce au leader Gazelle qu'il arrivera 10 minutes plus tard et ce dernier lui donne en retour les indicatifs et positions approximatives de sa patrouille et du Cougar, ainsi que la situation tactique. Au vu de celle-ci, à 18h19, l'AMC demande aux Tigre et Gazelle de rester au nord de la zone, les Tigre devant rester à l'ouest du *wadi* et les Gazelle à l'est. Toutes les communications suivantes de l'AMC concernent la gestion de la mission et les règles d'engagement, en lien avec les troupes au sol qui demandent avec insistance un tir, et le poste de commandement de Ménaka. Le Cougar part ensuite vers le nord puis l'est pour survoler le *wadi* à l'est de la ZA, qu'il remonte ensuite vers le nord-est.

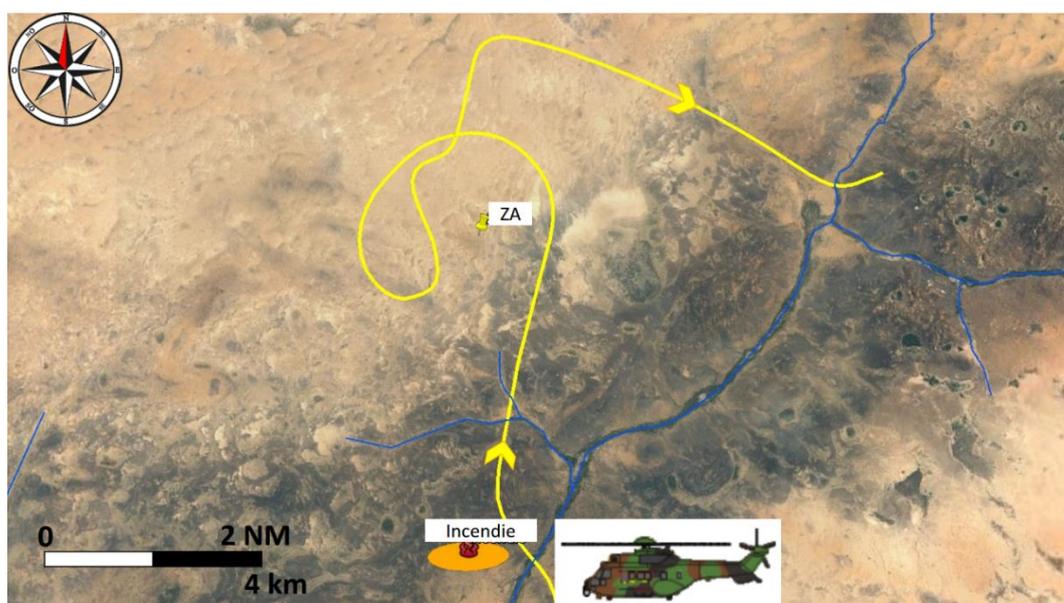


Figure 3 : déplacements du Cougar entre 18h11 et 18h24, vers le nord avec une boucle autour de la ZA, puis vers l'est

À 18h23, le leader Tigre annonce monter à 2 000 ft de hauteur (soit environ 3 000 ft d'altitude) et se placer à 2 nautiques à l'ouest de la zone (sous-entendu la ZA). Le Cougar annonce alors utiliser le TACAN<sup>8</sup> sur le canal 64X ; le leader Tigre indique qu'il utilise le canal 01X et son ailier le canal 64X également. Le Cougar s'annonce ensuite à 3 000 ft avec un calage à 1 013 hPa. Le leader Tigre précise qu'il passe aussi au calage à 1 013 hPa et qu'il est à 2 800 ft. En parallèle l'AMC propose au JTAC un retrait des Gazelle et du Cougar, dont il estime la présence non utile compte-tenu de la situation tactique. Il contacte ensuite le poste de commandement de Ménaka pour faire valider ce repli.

À 18h26, le leader Tigre annonce être à 3 000 ft au calage 1 013 hPa à 2 nautiques à l'ouest de la ZA et demande au Cougar de confirmer sa position. Celui-ci indique être à 3 200 ft au calage 1 013 hPa et à 8 nautiques au nord-est de la ZA. Le leader Tigre annonce alors descendre à 2 800 ft pour être « non conflictuel ».

L'AMC demande au leader Gazelle de faire une passation de consignes vers le leader Tigre pour une prise de relève. Lors de ce briefing, le leader Gazelle indique être à 2 000 ft au calage 1 013 hPa. Pendant ce temps la patrouille de Tigre se déplace vers le nord-ouest de la ZA en restant à distance relativement constante de celle-ci puis fait route vers le sud, tout en restant à l'ouest de la ZA. En même temps le Cougar, après avoir longé le *wadi* vers le nord sur une dizaine de kilomètres, fait demi-tour et revient vers le sud en le longeant sans changer d'altitude et sans annonce à la radio.

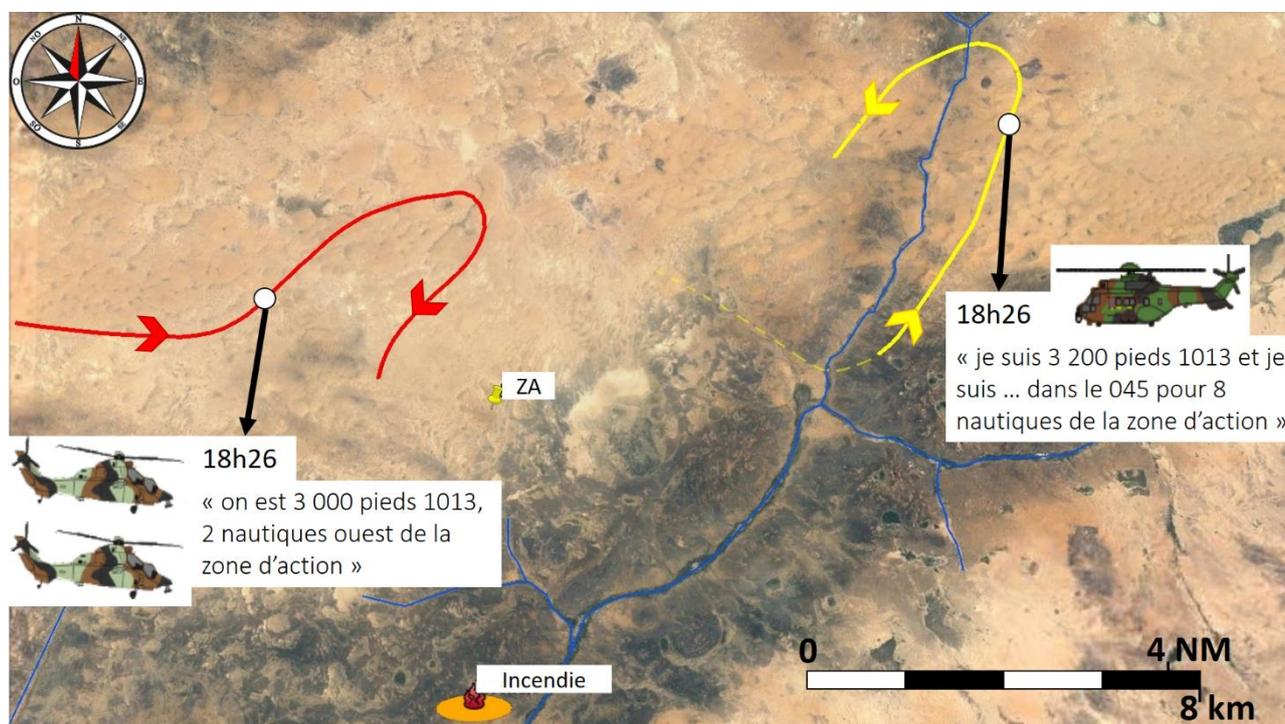


Figure 4 : représentation des trajectoires des Tigre et du Cougar au moment de l'arrivée de la patrouille Tigre

Quant à elles, les Gazelle évoluent autour de la ZA, l'ailier à 1 500 ft et le leader à 2 000 ft environ.

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

À 18h29, la patrouille Tigre se sépare et l'ailier part vers le sud du *wadi* pour survoler les troupes françaises sur la demande du JTAC, sans intervention de l'AMC qui est occupé sur un autre canal de communication. Le leader se met en orbite autour de la ZA en faisant un premier passage vertical puis en initiant un virage par la droite autour du point d'intérêt. Au début de cette manœuvre, l'aéronef monte de 2 800 ft à 3 000 ft.

À 18h31 le leader Tigre annonce au leader Gazelle s'être mis en orbite autour de la ZA à 3 000 ft et avoir envoyé son ailier « au nord » sous les ordres du JTAC, puis monte à 3 300 ft après l'avoir annoncé à son ailier sur la fréquence interne patrouille Tigre. Le leader Gazelle signale qu'il est à un peu plus de 2 000 ft

<sup>8</sup> TACAN : tactical air navigation, système de navigation aérienne tactique ; le fonctionnement du TACAN air-air est détaillé au paragraphe 1.17.4.

d'altitude et que son ailier est à 200 mètres de hauteur (environ 1 500 ft d'altitude). À 18h32 l'ailier Tigre annonce être passé au sud du *wadi* et descendre vers 2 000 ft au calage 1 013 hPa.

Au même moment, le Cougar revient sur la ZA sans l'annoncer et se met en virage par la gauche, toujours à 3 200 ft. À 18h33, il croise le leader Tigre une fois à un peu plus de 300 mètres en distance horizontale (et environ 100 ft d'écart en vertical), alors que les deux aéronefs sont à l'ouest de la ZA, puis chacun continue sur son orbite.

À 18h34, une patrouille d'avions de chasse en provenance de Niamey s'annonce en approche de la zone.

À 18h35 environ, le leader Tigre entame une descente et le Cougar initie un virage à droite vers l'extérieur de l'orbite. À 18h35'20'', les deux aéronefs s'abordent.

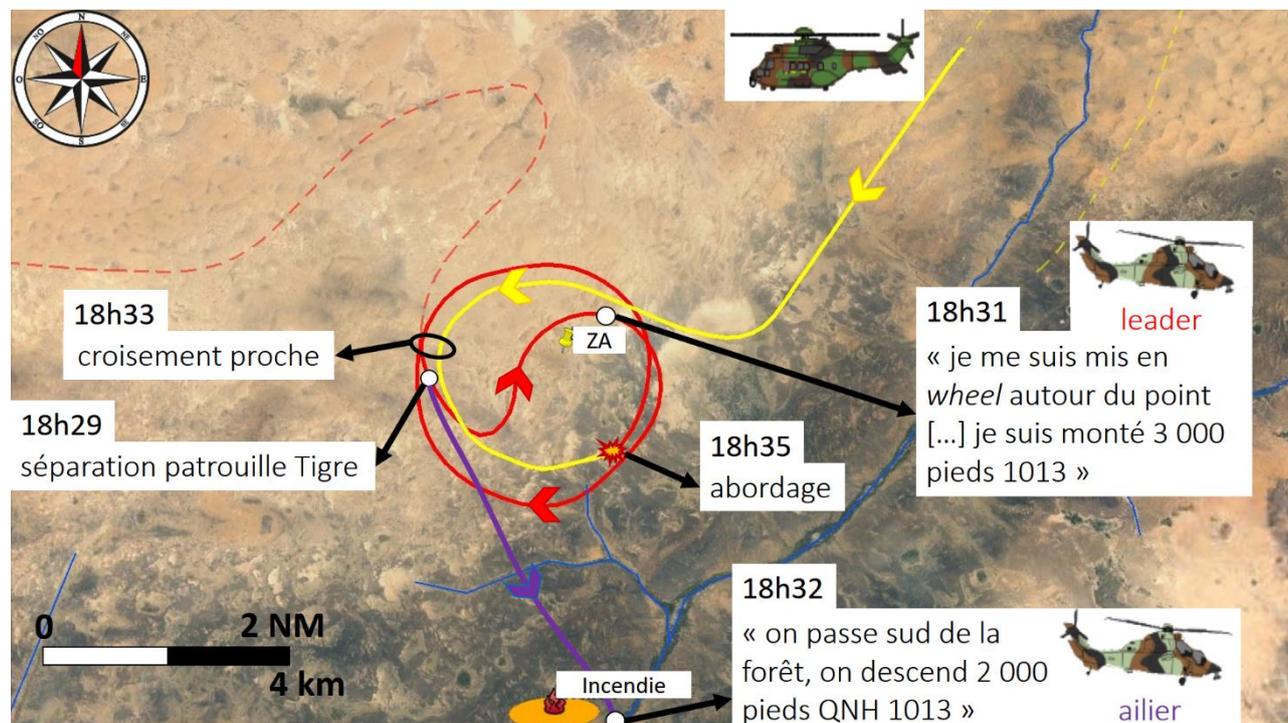


Figure 5 : représentation des trajectoires finales des Tigre et du Cougar lors des six dernières minutes de vol

### 1.1.3. Localisation

– Lieu :

- pays : Mali
- coordonnées géographiques : N 15°47' - E 001°43'
- altitude du lieu de l'évènement : 3 200 ft (soit environ 2 200 ft de hauteur)

– Moment : nuit

### 1.2. Dommages corporels

Les deux membres d'équipage du Tigre, les cinq membres d'équipage ainsi que les six passagers du Cougar sont décédés.

### 1.3. Dommages aux aéronefs

Les deux hélicoptères sont détruits et ont brûlé. De nombreuses pièces ou éléments de structure complets (queue du Cougar, moyeux rotors, pales, filtres anti-sable, etc.) sont retrouvés à distance des épaves et n'ont pas brûlé mais sont tordus ou fragmentés.

### 1.4. Autres dommages

La végétation (quelques petits arbres et arbustes) a brûlé dans un rayon d'environ 20 mètres autour de chaque épave et jusqu'à 100 mètres pour les herbes sèches.

## 1.5. Renseignements sur les équipages

Les paragraphes suivants détaillent les données concernant les personnels chargés de l'exploitation des aéronefs.

### 1.5.1. Membres d'équipage de conduite du Tigre

#### 1.5.1.1. Pilote commandant de bord

- Âge : 27 ans
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC
- Formation :
  - qualification : chef de patrouille Tigre depuis 2018
  - école de spécialisation : école de l'aviation légère de l'armée de Terre (EALAT)
  - année de sortie d'école : 2016
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Tigre	sur tout type	dont Tigre	sur tout type	dont Tigre
Total (h)	562	316	146	131	33	33
Dont nuit	129	107	40	37	10	10

- Date du précédent vol sur Tigre HAD :
  - de jour : 25 novembre 2019
  - de nuit : 23 novembre 2019

#### 1.5.1.2. Pilote

- Âge : 30 ans
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC
- Formation :
  - qualification : pilote Tigre depuis 2015
  - école de spécialisation : EALAT
  - année de sortie d'école : 2013
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Tigre	sur tout type	dont Tigre	sur tout type	dont Tigre
Total (h)	1 010	686	135	128	29	28
Dont nuit	171	126	28	28	10	10

- Date du précédent vol sur Tigre HAD :
  - de jour : 25 novembre 2019
  - de nuit : 23 novembre 2019

### 1.5.2. Membres d'équipage de conduite du Cougar

#### 1.5.2.1. Pilote commandant de bord

- Âge : 32 ans
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC
- Formation :
  - qualification : chef de bord hélicoptère de manœuvre depuis 2019
  - école de spécialisation : EALAT
  - année de sortie d'école : 2011

- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Cougar NG	sur tout type	dont Cougar NG	sur tout type	dont Cougar NG
Total (h)	1 351	798	123	123	36	36
Dont nuit	245	139	31	31	13	13

- Date du précédent vol sur Cougar NG :
  - de jour : 24 novembre 2019
  - de nuit : 24 novembre 2019

#### 1.5.2.2. Pilote

- Âge : 28 ans
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC
- Formation :
  - qualification : pilote Cougar depuis 2016
  - école de spécialisation : EALAT
  - année de sortie d'école : 2013
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Cougar NG	sur tout type	dont Cougar NG	sur tout type	dont Cougar NG
Total (h)	1 055	713	130	130	36	36
Dont nuit	199	139	24	24	13	13

- Date du précédent vol sur Cougar NG :
  - de jour : 24 novembre 2019
  - de nuit : 24 novembre 2019

#### 1.5.2.3. Mécanicien volant d'aéronef à voilure tournante (MVAVT)

- Âge : 35 ans
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC
- Formation :
  - qualification : MVAVT Cougar depuis 2013, primo-formateur caméra thermique depuis 2016
  - école de spécialisation : EALAT
  - année de sortie d'école : 2013
- Heures de vol comme mécanicien navigant :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Cougar NG	sur tout type	dont Cougar NG	sur tout type	dont Cougar NG
Total (h)	1 293	1 198	44	44	4	4
Dont nuit	342	331	12	12	3	3

- Date du précédent vol sur Cougar NG :
  - de jour : 24 novembre 2019
  - de nuit : 21 novembre 2019

### 1.5.3. Autres membres d'équipage du Cougar

#### 1.5.3.1. AMC

- Âge : 35 ans
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC
- Formation :
  - qualification : chef de patrouille Tigre depuis 2014, AMC depuis 2018
  - école de spécialisation : EALAT
  - année de sortie d'école : 2012
- Heures de vol :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Tigre HAP <sup>9</sup>	sur tout type	dont Tigre HAP	sur tout type	dont Tigre HAP
Total (h)	1 105	654	113	63	14	0
Dont nuit	200	179	10	3	5	0

- Expérience en tant qu'AMC : plusieurs missions en entraînement et en opérations, nombre inconnu
- Date du précédent vol :
  - sur Tigre :
    - de jour : 30 août 2019
    - de nuit : 7 juin 2019
  - sur Cougar NG :
    - de jour : 24 novembre 2019
    - de nuit : 21 novembre 2019

#### 1.5.3.2. Membre opérationnel de soute (MOS)

- Âge : 35 ans
- Unité d'affectation : 5<sup>e</sup> RHC
- Formation :
  - qualification : opérateur MOS depuis 2012, tireur de bord depuis 2015
- Heures de vol :

	Total	Dans le semestre écoulé	Dans les 30 derniers jours
Total (h)	1 135	104	37
Dont nuit	207	24	8

- Date du précédent vol sur Cougar NG :
  - de jour : 24 novembre 2019
  - de nuit : 21 novembre 2019

<sup>9</sup> HAP : hélicoptère appui-protection.

## 1.6. Renseignements sur les aéronefs

### 1.6.1. Tigre HAD

- Organisme : armée de Terre
- Commandement d'appartenance : aviation légère de l'armée de Terre (ALAT)
- Aérodrome de stationnement : Gao
- Unité d'affectation : GTD-A
- Type d'aéronef : EC 665 « Tigre » version HAD Block 2
- Configuration : canon armé d'obus, filtres anti-sable

	Type-série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis VI 400 heures
Cellule	EC 665	6017	564	69
Moteur 1	MTR 390E	3107	550	69
Moteur 2	MTR 390E	3042	567	69

L'aéronef est sorti de visite intermédiaire (VI) 400 heures le 5 mai 2019.

#### 1.6.1.1. Maintenance

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

La radio HF (*high frequency*, haute fréquence), ainsi que le transpondeur, ne sont pas utilisables. La mission ne prévoyant pas leur utilisation, la liste minimale d'équipements (LME) n'impose pas qu'ils soient fonctionnels. Ceux de l'ailier sont fonctionnels au besoin.

#### 1.6.1.2. Performance

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

#### 1.6.1.3. Masse et centrage

- Masse au décollage : 6 600 kilogrammes
  - Masse au moment de l'évènement : 6 160 kilogrammes
- Le centrage est dans les normes pendant toute la durée du vol.

#### 1.6.1.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F-35
- Quantité de carburant au décollage : 2 070 litres
- Quantité de carburant au moment de l'évènement : 1 533 litres

#### 1.6.1.5. Autres fluides

- Fluide de lubrification moteurs et ensembles tournants : huile O-156
- Fluide hydraulique : H-537
- Fluide frigorigène : R134 A

### 1.6.2. Cougar NG

- Organisme : armée de Terre
- Commandement d'appartenance : GTD-A
- Aérodrome de stationnement : Ménaka
- Unité d'affectation : GTD-A
- Type d'aéronef : AS 332 M1 « Cougar » NG
- Configuration : boule optronique avec voie jour

	Type-série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis GV/RG <sup>10</sup>	Heures de vol depuis visite 250 heures
Cellule	AS 332 M1	2272	5 567	289	40
Moteur 1	Makila 1A1	2354	1 934	451	40
Moteur 2	Makila 1A1	1172	13 121	1 487	40

La dernière grande visite s'est terminée le 12 juillet 2018, la dernière visite 250 heures le 26 septembre 2019.

#### 1.6.2.1. Maintenance

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

#### 1.6.2.2. Performance

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

#### 1.6.2.3. Masse et centrage

- Masse au décollage : 9 000 kilogrammes
- Masse au moment de l'évènement : 8 600 kilogrammes

Le centrage est dans les normes pendant toute la durée du vol.

#### 1.6.2.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F-35
- Quantité de carburant au décollage : 1 360 kilogrammes
- Quantité de carburant au moment de l'évènement : 960 kilogrammes

#### 1.6.2.5. Autres fluides

- Fluide de lubrification moteur et ensembles tournants sauf moyeu rotor : huile 0-156
- Fluide de lubrification moyeu rotor : huile 0-155
- Fluide hydraulique : H-537

### 1.7. Conditions météorologiques

#### 1.7.1. Prévisions

Les prévisions météorologiques pour le 25 novembre 2019 dans la région ouest de Ménaka sont un ciel dégagé, une visibilité supérieure à 10 kilomètres et un vent calme, environ 5 nœuds (kt), de direction variable entre nord et nord-nord-est. La nuit est prévue de niveau 5<sup>11</sup> à partir de 18h20 avec un coucher du soleil à 17h16.

#### 1.7.2. Observations

La météo sur le lieu de l'évènement constatée par les équipages est conforme aux prévisions.

### 1.8. Aides à la navigation

Le Tigre HAD est équipé de plusieurs systèmes de radionavigation, d'un GPS (*global positioning system*, système de positionnement mondial) et d'un TACAN avec fonction air-air. L'aéronef dispose d'un système de cartographie numérique affichée sur les écrans du cockpit avec une représentation de la position et de l'orientation de l'aéronef et une représentation de la ligne de visée de la caméra optronique. Ce système cartographique ne permet pas l'affichage dynamique de la position d'autres aéronefs.

<sup>10</sup> GV : grande visite, pour la cellule ; RG : révision générale, pour les moteurs.

<sup>11</sup> Le niveau de nuit est défini sur une échelle de 1 (nuit la plus claire) à 5 (nuit la plus sombre).

Le Cougar NG est équipé de plusieurs systèmes de radionavigation et d'un GPS. Il est aussi équipé d'un TACAN avec mode air-air et d'un *direction finder* (DF, radiogoniomètre<sup>12</sup>). Un SITALAT (système d'information terminal de l'aviation légère de l'armée de Terre) permet un affichage numérique de la cartographie et d'informations tactiques statiques au sol.

### 1.9. Télécommunications

Le Tigre HAD est équipé de cinq postes de radiocommunication et d'un transpondeur.

Le poste HF et le transpondeur du Tigre accidenté n'étaient pas fonctionnels le jour de l'évènement.

Le Cougar NG est équipé de quatre postes de radiocommunication et d'un transpondeur.

Le plan de fréquences pour l'opération de l'évènement est le suivant :

- une fréquence pour la communication du module (ensemble des hélicoptères sur la zone) ;
- une fréquence pour la communication avec le JTAC au sein des troupes au sol ;
- un canal sur le PR4G<sup>13</sup> pour la liaison de l'AMC avec le poste de commandement de Ménaka, sur laquelle les PCB du Cougar et des Gazelle sont aussi en écoute ;
- un autre canal sur le PR4G pour les communications de la patrouille Tigre avec le poste de commandement de Gao ;
- la patrouille de Tigre utilise en plus un autre canal PR4G pour les communications internes à la patrouille.

Au moment de l'évènement, le poste de commandement de Ménaka est le seul interlocuteur à portée de ces moyens radio en plus des intervenants sur la zone (aéronefs et troupes au sol). Le poste de commandement de Gao est en communication par l'intermédiaire d'autres réseaux pour obtenir les informations provenant de Ménaka.

### 1.10. Enregistreurs de bord

Le Tigre HAD et le Cougar NG de l'évènement sont tous les deux équipés de *cockpit voice and flight data recorder* (CVFDR, enregistreur de voix et de données de vol). Celui du Cougar est situé dans la queue et a été retrouvé dans celle-ci, légèrement endommagé. Celui du Tigre a été retrouvé dans l'épave, enfoncé et carbonisé. Les deux enregistreurs ont pu être exploités.



Figure 6 : CVFDR du Cougar (à gauche) et du Tigre (à droite)

Le Tigre HAD et le Cougar NG ont aussi la possibilité d'enregistrer les images de leur caméra vidéo. Les supports de stockage ne sont pas protégés en cas d'accident. Celui du Cougar a été détruit par l'incendie. Celui du Tigre a été relativement épargné par l'explosion et l'incendie de l'épave. Les données qu'il contenait ont pu être récupérées mais aucune donnée vidéo ne concerne le vol de l'évènement.

<sup>12</sup> Radiogoniomètre : système permettant l'affichage de la direction relative d'une source d'émission radio.

<sup>13</sup> PR4G : poste radio de quatrième génération.

### 1.11. Constatations sur les aéronefs et sur les zones d'impact

Les épaves sont distantes l'une de l'autre d'un kilomètre environ. Plusieurs fragments de grande taille (notamment la queue du Cougar, les moyeux rotor, des pales, etc.) sont éparpillés entre et autour des deux épaves.

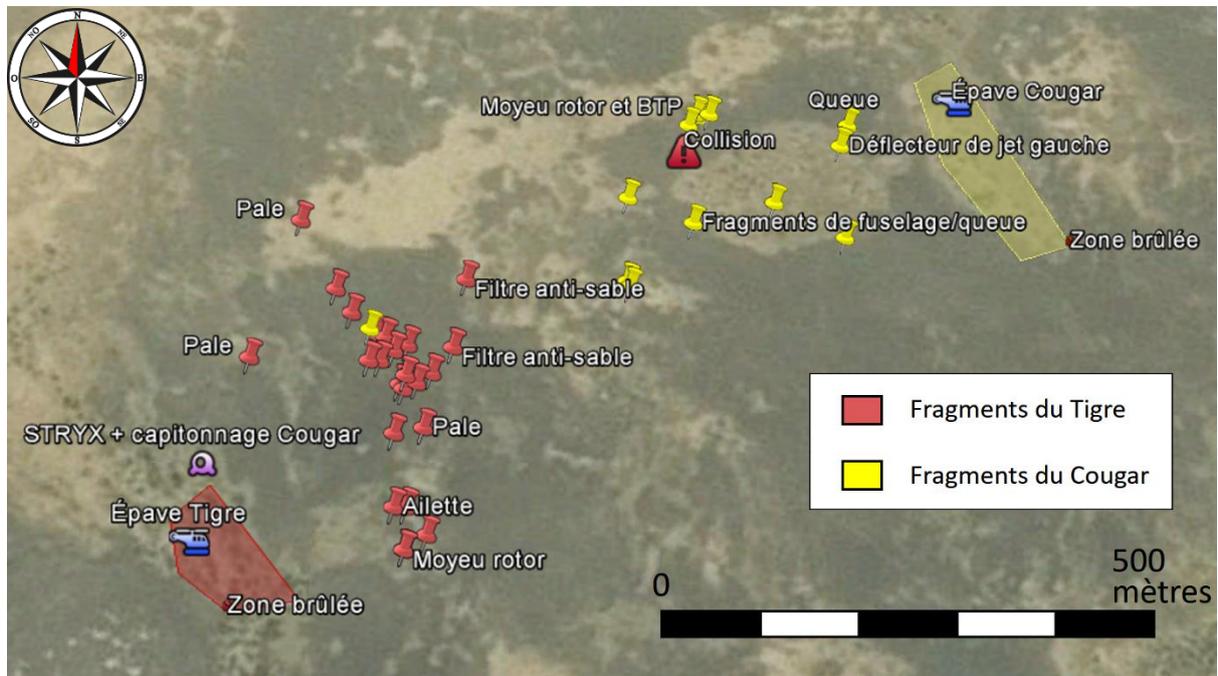


Figure 7 : position des épaves et répartition des débris

#### 1.11.1. Examen de l'épave et de la zone d'impact du Tigre

L'épave principale du Tigre est complètement calcinée et fragmentée en morceaux de petite taille, répartis dans un rayon de 20 mètres environ. La majorité des débris du fuselage est répartie sur une bande approximativement orientée nord-sud.

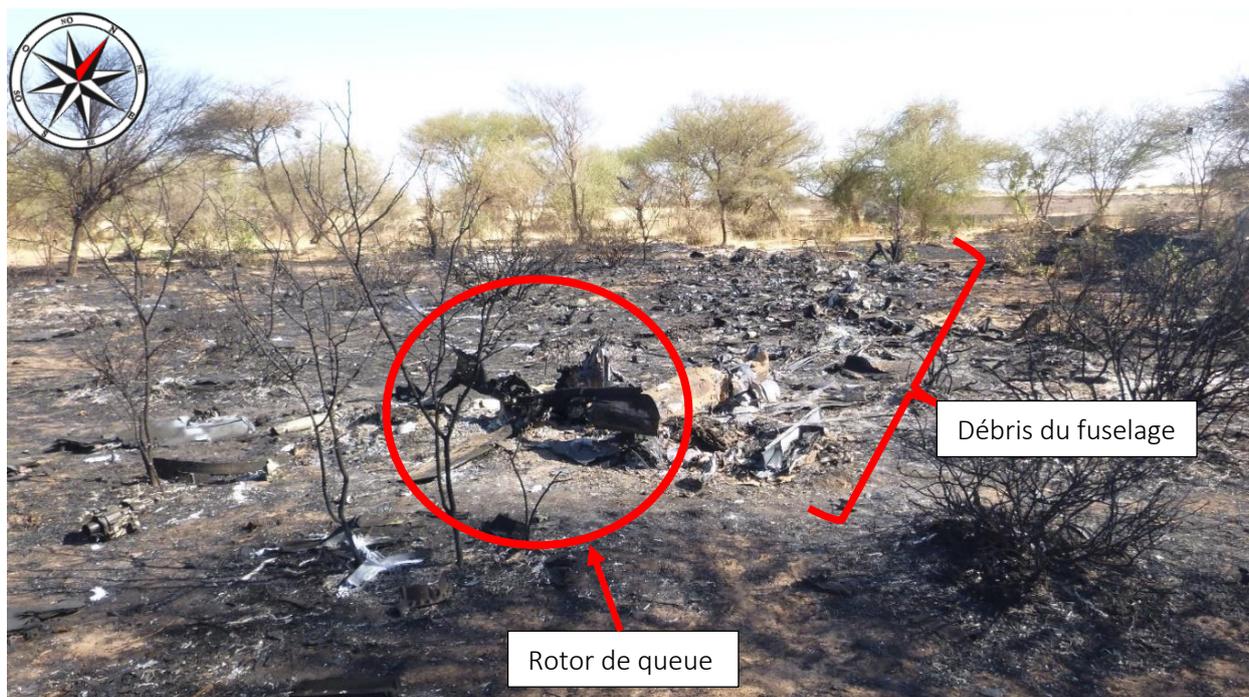


Figure 8 : épave principale du Tigre

De nombreux débris de toutes tailles (de fragments de plexiglas à des pales entières du rotor principal) sont éparpillés sur la zone au nord-est de ce point d'impact et n'ont pas brûlé. Ces morceaux appartiennent en majorité à la partie haute du Tigre : rotor principal, pales, boîte de transmission principale, capots moteurs, filtres anti-sable des moteurs, caméra optronique, blindage du poste de pilotage du PCB. Le rotor principal n'a qu'une seule pale encore attachée, les autres éléments (deux pales d'un seul tenant et la troisième en deux grands morceaux) étant dans des zones diamétralement opposées du champ de débris à plusieurs centaines de mètres les unes des autres. Un morceau de capitonnage de l'intérieur du fuselage du Cougar est à côté des fragments de la caméra, soit à plus de 900 mètres de l'épave principale du Cougar.



Figure 9 : pale entière à gauche, moyeu rotor avec une seule pale (vrillée) à droite



Figure 10 : caméra optronique en 3 fragments et capitonnage Cougar

La plupart des débris est tombée sur un sol dur et rocailleux et n'a pas laissé de trace au sol lors de l'impact, à l'exception des pales, dont celle présentée en figure 9, qui ont laissé une marque prononcée au sol.

#### 1.11.2. Examen de l'épave et de la zone d'impact du Cougar

La partie principale de l'épave du Cougar est constituée du fuselage, couché sur son flanc gauche, l'avant orienté vers l'ouest, complètement brûlé (avec certaines pièces en aluminium fondues, cf. figure 11). Quelques grosses pièces (jambes de train principal par exemple) sont situées à proximité et sont aussi calcinées.

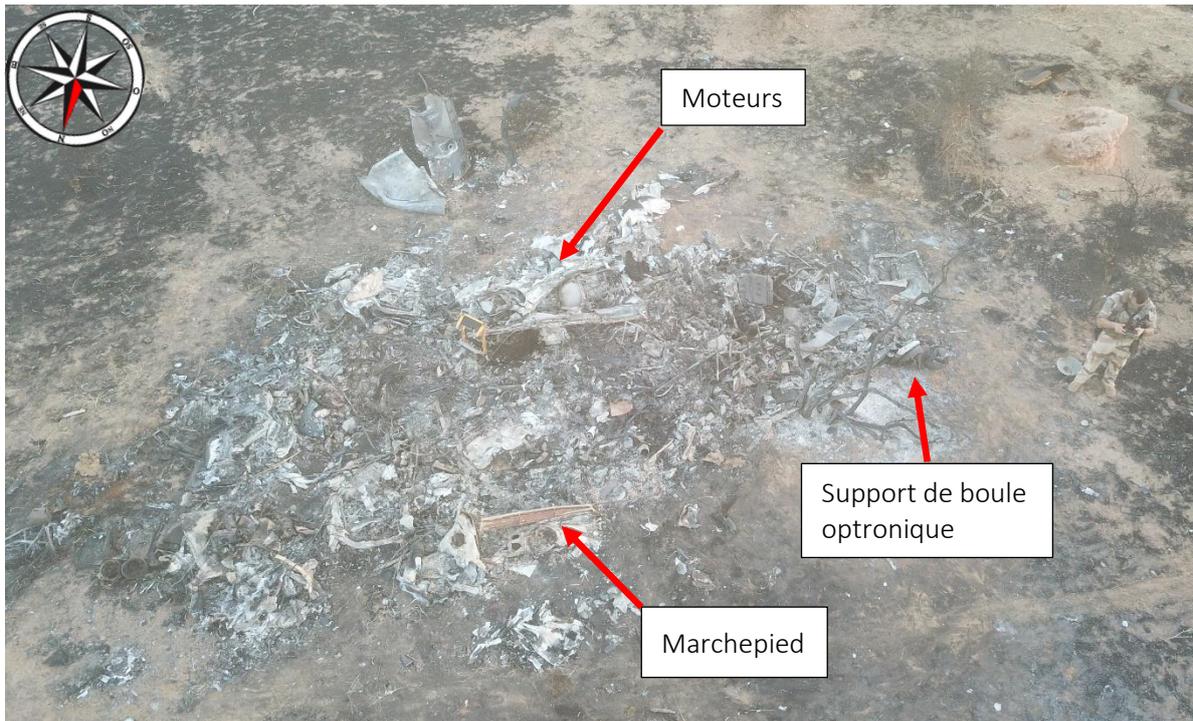


Figure 11 : fuselage du Cougar vu du dessus ; l'avant est à droite

De nombreux éléments qui se trouvaient à l'arrière de la soute sont à quelques mètres du fuselage et n'ont pas brûlé : une banquette, les cales pour les roues, des boîtes de munitions, des bouteilles d'eau etc., ainsi que l'échelle de bord. La queue est retrouvée à 150 mètres au sud-ouest. Encore plus loin à 150 mètres à l'ouest sont retrouvés le rotor principal, n'ayant plus qu'une seule pale fortement endommagée (les trois autres étant brisées près de l'emplanture), la boîte de transmission principale, puis les trois pales restantes.



Figure 12 : queue du Cougar, à gauche ; à droite, rotor principal et boîte de transmission principale

D'autres fragments de grande taille, le déviateur de jet du moteur gauche et d'autres morceaux de la queue, sont retrouvés à une centaine de mètres du fuselage et reposent aussi sur un sol rocailleux ne présentant pas de traces d'impact ou de frottement. Les plus petits fragments de l'arrière du fuselage sont retrouvés près des débris du Tigre.

## 1.12. Renseignements médicaux des membres d'équipage

### 1.12.1. Membres d'équipage de conduite du Tigre

#### 1.12.1.1. Pilote commandant de bord

- Dernier examen médical :
  - type : VMP<sup>14</sup> / VSU<sup>15</sup> (référence<sup>16</sup> : expertise en CEMPN<sup>17</sup> du 8 mars 2018)
  - date : 9 septembre 2019
  - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : mortelles

#### 1.12.1.2. Pilote

- Dernier examen médical :
  - type : VMP / VSU (référence : expertise en CEMPN du 10 janvier 2018)
  - date : 3 octobre 2019
  - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : mortelles

### 1.12.2. Membres d'équipage de conduite du Cougar

#### 1.12.2.1. Pilote commandant de bord

- Dernier examen médical :
  - type : expertise en CEMPN
  - date : 26 juin 2019
  - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : mortelles

#### 1.12.2.2. Pilote

- Dernier examen médical :
  - type : expertise en CEMPN
  - date : 5 septembre 2019
  - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : mortelles

#### 1.12.2.3. MVAVT

- Dernier examen médical :
  - type : VMP/VSU (référence : expertise en CEMPN du 27 mars 2018)
  - date : 5 novembre 2019
  - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : mortelles

---

<sup>14</sup> VMP : visite médicale périodique.

<sup>15</sup> VSU : visite semestrielle en unité.

<sup>16</sup> Conformément à l'instruction n° 3300/DEF/EMAT/OAT/BEMP du 8 octobre 2014, le personnel navigant de l'armée de Terre bénéficie d'une visite de contrôle semestrielle pour maintenir l'aptitude délivrée par l'expertise en CEMPN pour une durée de validité maximale de vingt-quatre mois.

<sup>17</sup> CEMPN : centre d'expertise médicale du personnel navigant.

### 1.12.3. Autres membres d'équipage du Cougar

#### 1.12.3.1. AMC

- Dernier examen médical :
  - type : VMP / VSU (référence : expertise en CEMPN du 23 avril 2019)
  - date : 11 juillet 2019
  - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : mortelles

#### 1.12.3.2. MOS

- Dernier examen médical :
  - type : VMP
  - date : 29 août 2019
  - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : mortelles

### 1.13. Incendie

Les autres équipages et les troupes au sol témoignent d'un flash lumineux suivi de la chute de deux masses incandescentes. L'impact avec le sol a provoqué deux explosions, puis de nombreuses petites explosions sur l'épave du Tigre. Les épaves ont brûlé plusieurs heures. La végétation environnant chaque épave a brûlé.

### 1.14. Organisation des secours

Les autres équipages présents voient les explosions au sol et pensent d'abord à l'explosion de bombes tirées par des avions de chasse. Cependant, ces derniers ne sont pas encore arrivés sur zone. Quelques minutes sont nécessaires pour constater puis confirmer l'absence du leader Tigre et du Cougar à la radio.

Immédiatement, les équipages encore en vol contactent le centre des opérations de Ménaka et une mise en alerte des hélicoptères d'évacuation médicale de Gao et Ménaka est faite. Ceux de Gao décollent mais ne peuvent se poser à proximité des épaves avant que la zone ne soit sécurisée et vont donc à Ménaka pour ravitailler et attendre. D'autres hélicoptères de manœuvre déposent des commandos auprès des épaves pour sécuriser les lieux ; ceux-ci confirment l'absence de survivant.

Aucune balise de détresse n'a été détectée, que ce soit par les aéronefs présents sur la zone ou par les moyens satellitaires. La balise de détresse du Cougar a été retrouvée intègre dans la queue. La balise de détresse du Tigre n'a pas été retrouvée dans les débris et a probablement été complètement détruite par l'impact ou l'incendie qui a suivi.

### 1.15. Essais et recherches

La reconstitution des épaves est confiée à DGA TA afin de déterminer les conditions de l'abordage des deux appareils (positions relatives, dégâts causés).

L'analyse des prélèvements de carburant et d'huile est confiée à DGA EP.

L'extraction des données du CVFDR du Tigre a été réalisée par son fabricant, Hensoldt Sensors GmbH, en présence de l'équipe d'enquête.

L'exploitation des données des enregistreurs de vol est confiée à RESEDA.

L'expertise de la balise de détresse du Cougar est confiée à DGA TA.

L'analyse des facteurs organisationnels et humains est réalisée par l'IRBA et le BEA-É.

## 1.16. Renseignements sur les organismes

### 1.16.1. Groupement tactique désert – aérocombat

Le GTD-A regroupe l'ensemble des hélicoptères de l'ALAT déployés dans la force Barkhane, ainsi que des groupes de commandos embarqués. Il peut envoyer des détachements sur des bases opérationnelles avancées comme celle de Ménaka.

### 1.16.2. *Joint force air command* Afrique centrale et de l'ouest

Le *joint force air command* (JFAC, commandement de la composante air de la force interarmées) Afrique centrale et de l'ouest (AFCO) est en charge de la coordination des aéronefs français en opérations en Afrique centrale et de l'ouest. Il est localisé sur la base aérienne 942 de Lyon – Mont Verdun. Les autorités maliennes lui ont délégué la gestion de l'espace aérien dans le nord du Mali, fréquemment utilisé par les aéronefs œuvrant dans la force Barkhane.

Ce commandement édite régulièrement un *airspace control plan* (ACP, plan de contrôle de l'espace aérien) qui définit les espaces réservés selon les types d'aéronefs et leurs missions et dicte quelques règles de déconfliction<sup>18</sup>.

Les hélicoptères doivent opérer dans la portion d'espace aérien la plus près du sol. Dans cet espace, la déconfliction est basée sur la règle « voir et éviter », avec une communication en auto-information entre les aéronefs suivant un plan de fréquence déterminé. Le calage altimétrique commun préconisé est le QNH (valeur de la pression atmosphérique au niveau de la mer) mais un chef de mission peut choisir un autre calage au besoin.

## 1.17. Renseignements supplémentaires

### 1.17.1. Rôle de l'AMC

Au sein de l'organisation du traité de l'Atlantique nord (OTAN), un AMC est défini comme la personne désignée par le commandement d'une force d'intervention pour commander l'ensemble des moyens aériens sur une opération, quand celle-ci implique plus d'une patrouille d'aéronefs. Il est chargé de la préparation et de la réussite de la mission et il est responsable de la gestion du risque d'abordage. Il lui est demandé pour cela d'avoir un haut niveau de conscience de la situation aérienne et de s'assurer que l'ensemble des aéronefs aient les informations nécessaires pour voler en sécurité. L'ALAT utilise ce terme sans être complètement conforme à la définition de l'OTAN.

Au sein de l'ALAT, un chef de patrouille ne peut gérer que jusqu'à trois aéronefs. Un AMC est nécessaire pour conduire une mission impliquant un module de quatre aéronefs ou plus. L'AMC est un chef de patrouille expérimenté qui, en tant que commandant d'unité, peut tenir cette fonction. L'AMC est en charge de la préparation et de la conduite de la mission des aéronefs sous ses ordres, dont il assure le commandement et la coordination tactique. Il gère également la déconfliction entre les différentes patrouilles composant le module sous ses ordres. Cependant son commandement se limite aux aéronefs rattachés à l'ALAT, contrairement à la définition OTAN.

L'AMC peut faire partie de l'équipage de conduite ou être en soute d'un aéronef. L'aéronef à bord duquel l'AMC est embarqué est normalement dédié à cette fonction. Toutefois, les contraintes de disponibilité opérationnelle des aéronefs amènent l'AMC à embarquer parfois à bord d'un hélicoptère ayant aussi en charge une autre mission.

Pour les missions réalisées à proximité d'un poste de commandement (éventuellement mobile) et permettant une liaison radio directe avec des hélicoptères en vol à basse ou très basse hauteur, l'AMC peut être au sol dans ce poste de commandement.

---

<sup>18</sup> Déconfliction : utilisation de divers moyens pour coordonner les aéronefs évoluant dans un même espace aérien afin de réduire le risque de conflit de trajectoire des aéronefs et donc d'abordage.

### 1.17.2. Rôle du JTAC

Au sein de l'OTAN, le JTAC est défini comme un spécialiste de l'appui aérien avancé, intégré aux troupes au sol, dont le rôle est de coordonner les aéronefs en vol et de guider leurs actions vis à vis des personnes au sol. Le JTAC a un rôle de contrôle et d'information sur les quatre domaines suivants : mise à jour permanente de la situation tactique, désignation des cibles, déconfliction aérienne et délivrance des feux. C'est lui qui assure la liaison radio entre les intervenants au sol et en vol pour assurer ces quatre fonctions, notamment pour coordonner les tirs et éviter les trajectoires conflictuelles entre aéronefs et munitions. Dans le cas de la présence d'un AMC de l'ALAT, le JTAC interagit avec l'AMC, qui est responsable de la déconfliction interne à son groupe d'aéronefs.

### 1.17.3. Consignes pour la prévention des abordages au sein de l'ALAT

#### 1.17.3.1. Manuel d'exploitation de l'ALAT

Le manuel d'exploitation de l'ALAT<sup>19</sup> mentionne dans le paragraphe précisant les attributions du PCB que « *la veille anticollision (vigilance visuelle et écoute des moyens de communication) doit être effectuée par l'ensemble de l'équipage.* » Il ajoute que l'action du PCB « *s'exerce notamment sur :*

- [...]
- la prévention des collisions ;
- le choix de la hauteur de vol, des évolutions et de la vitesse à respecter ;
- [...]
- les modalités d'écoute permanente des fréquences militaires d'auto information et sur la nécessité d'annoncer la position de son aéronef ».

Ce même paragraphe mentionne aussi qu'« *un rôle identique est dévolu au commandant d'une formation d'aéronefs* », comme le chef de patrouille ou l'AMC. Les pilotes, sous la responsabilité de leur chef de bord, sont chargés de la prévention des collisions.

#### 1.17.3.2. Formation initiale

Les enseignements des pilotes à l'ALAT préconisent une déconfliction entre hélicoptères en altitude, avec une séparation verticale conseillée de 500 ft de nuit ou grâce à une séparation géographique ou dans le temps. Il est recommandé de combiner au moins deux de ces trois critères de séparation.

### 1.17.4. Fonctionnement du TACAN air-air

Dans un aéronef, le TACAN est généralement utilisé en lien avec une balise au sol et permet de connaître le gisement et la distance de l'aéronef par rapport à cette balise. Un aéronef embarquant une balise TACAN en mode air-air permet à un autre aéronef équipé d'un récepteur TACAN de connaître sa distance par rapport à cette balise embarquée. La balise et le récepteur TACAN doivent utiliser des fréquences décalées de 63 canaux pour communiquer entre eux. Ainsi dans le cas présent, les Tigre de la patrouille sont sur le canal 01X pour le leader et sur le canal 64X pour l'ailier.

Lorsqu'un module comprend plus de deux aéronefs équipés, il est nécessaire de prendre des précautions dans l'emploi du TACAN air-air. En effet, si deux aéronefs activent leur balise TACAN air-air sur le même canal, ils vont entrer en concurrence et un aéronef utilisant le canal apparié pour connaître la distance de séparation ne pourra détecter que le plus proche des deux. Il n'aura donc l'affichage de la distance que pour celui-ci.

Une méthode est enseignée pour se prémunir de ce problème avec trois aéronefs. Par exemple, elle consiste pour le chef de patrouille, à alterner entre les canaux 01X et 01Y, en fonction de l'aéronef qu'il souhaite localiser parmi ses ailiers, configurés en 64X et en 64Y pour cet exemple.

### 1.17.5. Fonctionnement des JVN et saturation

Les jumelles de vision nocturne (JVN) permettent de voir la nuit grâce à des tubes d'intensification de lumière. Il existe deux types de JVN. Le type 1, utilisé par les membres d'équipage de conduite du Cougar, consiste en une vision directe à travers les tubes intensificateurs de lumière.

---

<sup>19</sup> Manuel d'exploitation (MANEX) ALAT, partie A, chapitre A-04, édition 2.0 du 1<sup>er</sup> août 2019.

Le type 2, utilisé par les membres d'équipage du Tigre, consiste en une projection sur la visière du casque de l'image des tubes en surimpression de l'image directe.

En cas de trop forte luminosité, les tubes saturent et donnent une image verte unie très lumineuse (effet de halo), empêchant toute vision utile dans la zone de la source lumineuse. Ce phénomène est encore plus marqué par nuit de niveau 5 car le contraste est important.



Figure 13 : JVN type 1 (à gauche) et type 2 (à droite, casque pilote Tigre)

Les tubes des JVN sont parallèles, ce qui fait perdre la capacité de vision binoculaire à percevoir les reliefs. L'image vue par les pilotes est une image plane qui perturbe l'évaluation des distances. De plus, le faible angle d'ouverture optique des tubes intensificateurs de lumière rend le champ visuel très réduit, à environ 10 à 15% du champ visuel normal. Cette limitation impose de balayer du regard la zone que l'on veut observer, par des rotations de la tête, pour recomposer le champ visuel. La conjugaison de ces deux limitations rend difficile et potentiellement longue la détection du rapprochement d'un objet peu lumineux. En outre, les performances des JVN dépendent des conditions de visibilité et leur faible résolution limite les capacités de reconnaissance des formes et des mouvements.

#### 1.17.6. Feux de formation

Afin d'être visibles par les autres aéronefs en vol de nuit, les hélicoptères de l'ALAT sont équipés de différents feux extérieurs :

- feux de position, trois feux fixes matérialisant chacun un secteur d'environ 120° (vert à l'avant droit, rouge à l'avant gauche et blanc à l'arrière) ;
- feu anticollision, un feu à éclats placé sur le dessus et visible à 360° autour de l'aéronef ;
- feux de formation, destinés au vol en formation de plusieurs aéronefs en situation de combat, visibles depuis le dessus de l'aéronef et l'arrière (pour ne pas être vu depuis le sol) et de faible luminosité (destinés à être visibles sous JVN pour des aéronefs proches).

En vol de nuit standard, tous les feux sont allumés. Lors des opérations de combat de nuit, les hélicoptères de l'ALAT éteignent leurs feux à l'exception des feux de formation par mesure de discrétion vis-à-vis de l'ennemi.

PAS DE TEXTE

## 2. ANALYSE

L'analyse qui suit se décompose en trois parties. La première présente les résultats des expertises, la deuxième reconstitue la séquence probable de l'évènement et la troisième identifie les causes de l'accident.

### 2.1. Résultats des expertises

#### 2.1.1. Expertise des fluides

Les épaves ayant brûlé, l'analyse des fluides des aéronefs n'a été possible que pour l'huile de la boîte de transmission principale et de la boîte de transmission intermédiaire du Cougar, qui ont été séparées du fuselage suite à l'abordage et sont tombées loin de la zone de l'accident. Les boîtes de transmission du Tigre et la boîte de transmission arrière du rotor de queue du Cougar ont brûlé ou sont éventrées et ne contiennent plus d'huile.

Un prélèvement d'échantillons de carburant a été effectué sur les cuves et les camions d'avitaillement ayant servi au ravitaillement des aéronefs accidentés.

Les analyses de ces échantillons d'huile et de carburant montrent que les fluides sont du type attendu et n'ont révélé aucune anomalie, à part une teneur en eau élevée dans les huiles du Cougar mais sans trace des signes de vieillissement que cette présence d'eau peut provoquer.

**L'analyse des fluides récupérés ne révèle aucune anomalie en lien avec l'évènement.**

#### 2.1.2. Absence d'enregistrement vidéo du Tigre

Les hélicoptères Tigre sont munis d'un système vidéo qui enregistre les affichages des écrans et de la visière de casque du PCB, ce qui permet de connaître la direction du regard du PCB et du pilote. L'enregistrement est commandé depuis un boîtier dans le poste du PCB. Les données correspondantes sont enregistrées dans un module de mémoire extractible permettant une analyse après le vol.

Ce module mémoire a pu être récupéré dans les débris du leader Tigre et les données qu'il contient ont été extraites. Cependant aucune donnée vidéo ne correspond au vol de l'évènement. L'analyse du journal de bord de l'enregistreur montre qu'il a été mis sous tension au début du vol. Il bascule hors tension à 18h26'58'', au moment où le PCB a probablement tenté de lancer l'enregistrement lors de son arrivée sur la zone, conformément aux consignes de l'ALAT. Il est donc probable que l'enregistreur ait subi une panne lors de sa manipulation par le PCB, une mise hors tension de ce seul système n'étant pas réalisable par l'équipage en vol.

Une panne de ce système ne provoque pas de montée d'alarme sur les écrans principaux et a donc pu échapper à l'attention du PCB.

**Il est fortement probable que l'enregistreur vidéo du leader Tigre soit tombé en panne lors de la mise en route de l'enregistrement par le PCB. Aucune donnée vidéo n'est donc disponible pour confirmer les affichages en cockpit du PCB et la direction du regard du PCB et du pilote.**

#### 2.1.3. Exploitation des CVFDR

L'analyse des CVFDR des deux appareils, dont les enregistrements vocaux, a permis de reconstituer la configuration de chaque appareil et d'établir un suivi seconde par seconde de l'ensemble des communications de la mission.

##### 2.1.3.1. Intégrité des aéronefs

L'analyse des paramètres de vol a permis de vérifier que l'ensemble des systèmes des deux aéronefs fonctionne de façon nominale jusqu'au moment de l'abordage. Les moteurs délivrent la puissance attendue et fonctionnent nominalement ; des alarmes feu moteur se déclenchent sur le Tigre mais uniquement à

partir de l'instant de l'abordage. Les aéronefs répondent aux sollicitations des pilotes pendant tout le vol jusqu'à l'abordage.

Les équipages ne mentionnent pas de tir depuis le sol et les épaves n'ont aucun indice de dommage de combat.

Cependant pour le Tigre les systèmes suivants ne sont pas fonctionnels :

- le transpondeur et la radio HF, déclarés non fonctionnels avant le début du vol (cf. §1.6.1.1) ;
- le deuxième poste PR4G, qui semble avoir des soucis d'émission dans les minutes précédant l'accident.

**Jusqu'à l'abordage, les deux aéronefs sont intègres et leurs systèmes fonctionnels, hormis des systèmes déjà identifiés avant le vol et une radio du Tigre. Les équipages ont le contrôle des aéronefs.**

#### 2.1.3.2. Problème technique sur la radio du Tigre

Le PCB du Tigre se plaint de nombreux dysfonctionnements en émission du poste PR4G utilisé pour les communications internes à la patrouille, notamment lors du travail sur la zone. Lors des premières occurrences, le message peut être émis par un nouvel essai, mais à 18h31 et 18h32 plusieurs tentatives successives d'émission échouent.

Lorsque le PCB bascule sur l'autre poste PR4G, en remplacement de celui qui semble défectueux, les communications se déroulent nominalement (émission et réception de tous les messages). Pendant les 2 minutes et 40 secondes qui précèdent l'abordage, les membres d'équipage du Tigre utilisent donc l'autre poste PR4G pour les communications en interne patrouille.

La nature du problème technique ayant empêché (de façon intermittente puis permanente) l'émission de messages entre 18h25 et 18h32 n'a pas pu être déterminée.

**Entre 18h25 et 18h32, une défaillance technique de nature non identifiée a empêché par intermittence les membres d'équipage du leader Tigre d'émettre des messages vers l'ailier Tigre sur leur canal réservé.**

#### 2.1.3.3. Affichage des informations du TACAN et du *direction finder* (DF)

Les TACAN air-air des deux aéronefs sont fonctionnels pendant toute la durée du vol. Pour le Tigre, la distance TACAN est affichée en bas à droite de l'écran de droite du pilote du Tigre. Cette distance est égale à la distance entre le Tigre et le Cougar de 18h30'40'' jusqu'à l'abordage à 18h35'20'' (cf annexe).

L'affichage de l'information du TACAN sur l'écran de navigation du pilote du leader Tigre est donc :

- la distance qui le sépare de son ailier, du décollage jusqu'à 18h30'36'' ;
  - cette distance est faible lorsqu'ils volent en formation jusqu'à 18h29'40'' ;
  - elle augmente ensuite quand l'ailier Tigre s'éloigne ;
  - puis chute brutalement à 18h30'36'' quand le Cougar (utilisant le même canal TACAN que l'ailier Tigre) devient plus proche du leader Tigre que l'ailier Tigre et devient donc la balise TACAN détectée par le leader Tigre, sans autre signe permettant à l'équipage d'avoir conscience du changement de source affichée ;
- la distance par rapport au Cougar de 18h30'40'' jusqu'à l'abordage à 18h35'20'' ;
  - les deux aéronefs tournant en sens inverse autour du même point, la courbe décrit une sinusoïde ;
  - le point bas à 18h33'20'', correspondant au croisement à l'ouest de la ZA, donne une distance de 0,172 nautique soit environ 319 mètres, affiché 0,2 nautique en cockpit (arrondi) ;
  - dans les secondes précédant l'abordage, la distance TACAN affichée tend vers 0.

Pour le Cougar, il n'a pas pu être déterminé sur lequel des écrans de la planche de bord la distance TACAN est affichée. Étant donnée la configuration du cockpit (utilisation du deuxième écran du PCB pour afficher le flux vidéo de la caméra), cette information peut être affichée aux emplacements suivants (non exclusifs) : coin inférieur de l'écran principal (côté droite ou gauche) pour le pilote et le PCB, coin inférieur de l'écran de

navigation pour le pilote, ce dernier cas étant le plus usuel. La distance affichée est la même, comme détaillé auparavant pour les dernières minutes du vol.

Concernant le DF, l'analyse du CVFDR laisse supposer qu'il n'est ni configuré ni affiché sur la planche de bord.

**La distance TACAN air-air affichée sur l'écran de navigation du pilote du Tigre à partir de 18h30 est la distance avec le Cougar.**  
**Cette même distance est aussi affichée sur un des écrans du cockpit du Cougar, probablement sur l'écran de navigation du pilote.**  
**Cette distance affichée dans les deux hélicoptères décroît de façon sinusoïdale avec un minimum de 0,2 nautique à 18h33 et tend vers zéro dans les instants précédant l'abordage.**  
**Le DF du Cougar n'est probablement pas utilisé.**

#### 2.1.3.4. Tenue des paramètres de vol

Dans les minutes qui précèdent l'abordage, le Cougar vole avec les modes supérieurs du pilote automatique engagés :

- tenue d'altitude à 3 200 ft calage 1 013 hPa ;
- tenue de vitesse, à 66 kt pendant les trois dernières minutes ;
- tenue de cap, avec une gestion de la trajectoire par le pilote en faisant varier la consigne associée.

Le Tigre vole avec certains modes du pilote automatique engagés, à partir de 18h31 (une fois en orbite autour de la ZA) :

- tenue d'altitude à 3 300 ft calage 1 013 hPa, puis consigne de descente vers 3 000 ft à 18h35'04'' (16 secondes avant l'abordage) ;
- tenue de vitesse à 100 kt environ ;
- la gestion du cap est faite manuellement par le pilote via le manche cyclique par petites impulsions.

**Dans les minutes qui précèdent l'abordage, le Cougar maintient une altitude fixe de 3 200 ft au pilote automatique. Le Tigre maintient aussi son altitude au pilote automatique à 3 300 ft, puis en descente vers 3 000 ft juste avant l'abordage.**

#### 2.1.3.5. Calage altimétrique

Le Cougar affiche un calage altimétrique à 1 013 hPa. Le Tigre utilise un calage altimétrique à 1 012 hPa sur les instruments principaux. Afin d'avoir une bonne précision de visée de la caméra utilisée par le chef de bord, les instruments de vol doivent être calés au QNH (soit ici 1 012 hPa). L'écoute des échanges sur l'interphone de bord montre que le pilote du Tigre se réfère à l'instrument secours, dont l'altimètre est calé à 1 013 hPa. Pour éviter d'induire une erreur de visée, le pilote utilise son altimètre secours pour le pilotage, son calage étant indépendant de celui des autres instruments. Il l'a réglé au calage 1 013 hPa comme les autres aéronefs et utilise cet instrument pour ses annonces d'altitude. Le QNH au moment de l'évènement, réglé sur les instruments principaux, est à 1 012 hPa. La différence entre l'altimètre secours du pilote et les autres instruments, dont celui auquel peut avoir accès le chef de bord, est donc de 1 hPa soit environ 28 ft.

Dans les faits, à 18h35, le Tigre a les altitudes suivantes :

- 3 260 ft affiché sur l'écran principal du cockpit du pilote (le PCB n'ayant pas activé cet affichage) ;
- 3 300 ft affiché sur l'instrument secours du pilote.

Cependant, le Tigre étant en descente de 18h35 jusqu'au moment de l'abordage, ces erreurs de mesure et d'affichage n'ont pas eu d'impact sur l'évènement car il n'y a pas de problématique de tenue précise de l'altitude du fait du changement volontaire d'altitude.

**Les différents calages altimétriques utilisés par les pilotes du Tigre n'ont pas d'influence sur l'évènement.**

#### 2.1.4. Feux de formation

Une expertise a été effectuée sur le seul feu de formation du Cougar épargné par l'incendie, car situé sur la queue de l'aéronef ; les autres feux de formation, détruits dans l'incendie, n'ont pas pu être expertisés. Cette expertise montre que le feu est fonctionnel malgré l'accident.

La même expertise a été effectuée sur les quatre feux de formation du Tigre et montre que tous sont fonctionnels même après l'accident.

L'analyse des CVFDR montre que les équipages ont allumé les feux de formation à pleine puissance depuis le début du vol et les ont laissés ainsi ensuite.

**Les feux de formation des deux aéronefs ont été allumés à pleine puissance par leurs équipages respectifs. Tous les feux non détruits par l'incendie sont encore fonctionnels.**

#### 2.1.5. JVN

Une expertise a été réalisée sur les fragments de JVN qui ont été retrouvés parmi les débris. Cependant l'état des fragments n'a pas permis de statuer sur le bon fonctionnement des JVN. L'analyse des enregistrements de voix montre qu'aucun membre d'équipage ne se plaint d'un mauvais fonctionnement de ses JVN pendant le vol.

**Les JVN de tous les membres d'équipage du Tigre et du Cougar fonctionnent probablement nominalement.**

#### 2.1.6. Reconstitution de l'abordage

##### 2.1.6.1. Position relative des hélicoptères

Les épaves des deux hélicoptères ont été expertisées et la queue du Cougar reconstituée. Cette étude, combinée avec la reconstitution des trajectoires par RESEDA à l'aide des données des CVFDR, permet de produire la représentation de la position relative des deux hélicoptères au moment de l'abordage (cf. figure 14).

La partie arrière et supérieure du Cougar ainsi que la partie supérieure du Tigre (hormis les moteurs) se séparent au moment de l'abordage.

**Au moment de l'abordage, le contact a lieu entre l'avant du Tigre et l'arrière de la cabine du Cougar avec un angle relatif d'environ 140° entre les deux appareils. Les deux hélicoptères sont environ à même hauteur. Les dommages consécutifs à l'abordage ne permettent pas la poursuite du vol.**

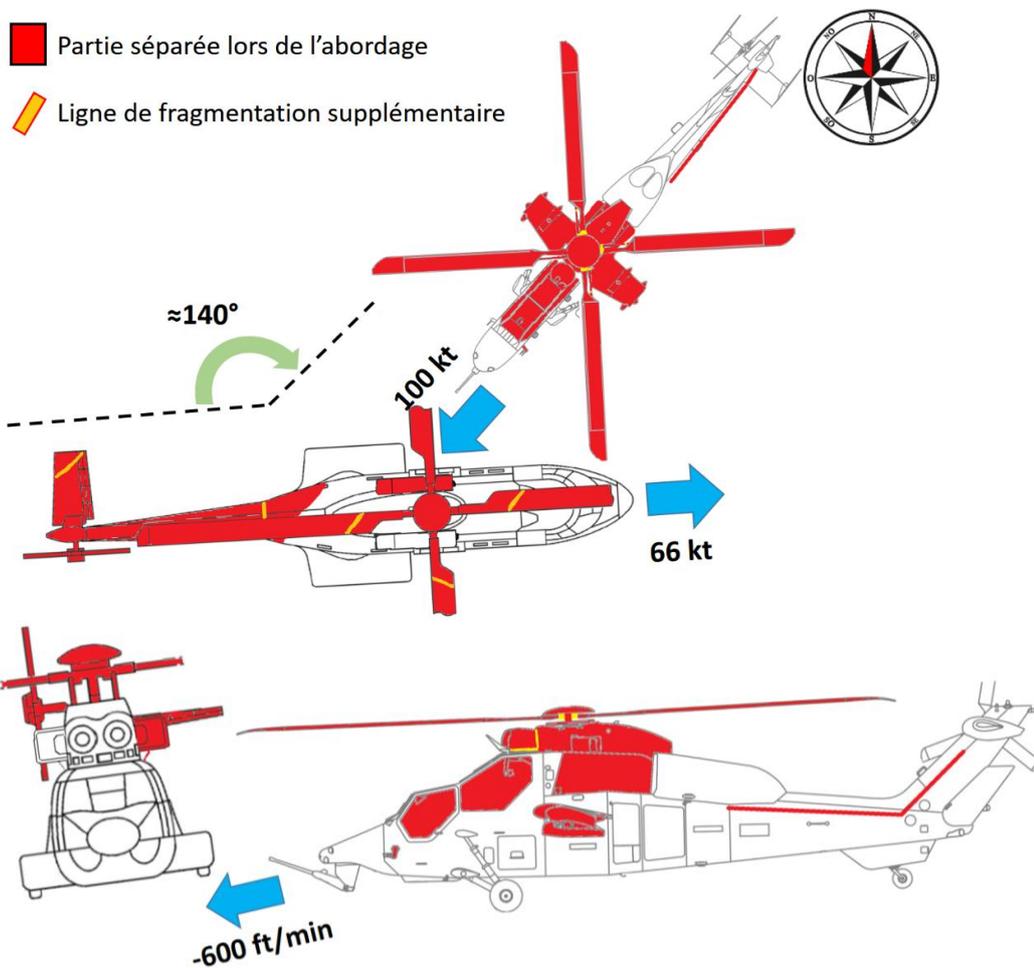


Figure 14 : positions relatives du Tigre et du Cougar au moment de l'abordage

### 2.1.6.2. Champ de vision de l'équipage

À partir du recalage des positions au moment du contact, la reconstruction des trajectoires enregistrées par les CVFDR permet de reproduire le positionnement des différents éléments dans le champ visuel des pilotes juste avant l'abordage si on suppose que leur regard se porte droit devant. Les figures 15 et 16 présentent une reconstitution sur laquelle le contraste et la luminosité ont été fortement augmentés afin de permettre d'avoir une image lisible. Dans les conditions réelles de l'évènement (nuit de niveau 5), le sol est complètement sombre et dénué de source lumineuse autre que l'incendie au sol et quelques feux au loin ; les étoiles dans le ciel apportent une luminosité très faible ; les seules sources lumineuses dans le cockpit sont les instruments de la planche de bord (pas tous représentés ici). De plus, ces représentations ne montrent pas la forte réduction du champ visuel induit par l'utilisation de JVN.



Figure 15 : points de vue du pilote du Tigre 10 secondes (à gauche) et 1 seconde (à droite) avant l'abordage

L'incendie au sol est dans le secteur avant du Tigre au moment de l'évènement et provoque une saturation des JVN dans le secteur correspondant. Le Cougar est masqué par un montant de vitre pendant quelques instants.



Figure 16 : points de vue du pilote du Cougar 10 secondes (à gauche) et 1 seconde (à droite) avant l'abordage

Dans les secondes qui précèdent l'abordage :

- le Tigre est en virage à droite avec une inclinaison de 9° et en descente avec un taux de chute d'environ 600 pieds par minute ; ses feux de formation sont donc masqués pour le Cougar ;
- le Cougar est en virage à droite avec une inclinaison de 5°, à altitude constante, ce qui masque ses feux de formation au Tigre.

Du point de vue du Tigre, le Cougar arrive par l'avant-droit et lui passe devant sans feu visible. L'incendie au sol provoque un secteur de visibilité très fortement dégradée vers l'avant (saturation des JVN).  
Du point de vue du Cougar, le Tigre arrive par l'avant-gauche, vers l'arrière sans feu visible.

### 2.1.7. Capacité de détection visuelle

Les feux de formation des deux aéronefs sont allumés à pleine puissance depuis le début du vol et tous les autres moyens lumineux extérieurs sont éteints. Cependant, dans l'ambiance de nuit de niveau 5, le repérage visuel d'un autre aéronef n'est possible que grâce à une caméra thermique ou en ayant un étagement positif laissant voir les feux de formation.

#### 2.1.7.1. Usage des caméras

Les échanges vocaux dans le cockpit du Cougar montrent que la caméra est utilisée uniquement pour regarder vers le sol. Le Tigre étant soit éloigné, soit plus haut que le Cougar, la caméra du Cougar n'a pas pu voir le Tigre.

La caméra du Tigre est a priori orientée sur le sol et notamment sur la ZA. En supposant que la caméra soit centrée sur la ZA, le Cougar ne passerait dans le champ de la caméra du Tigre que si le champ large est utilisé. En lien avec la distance d'observation, le PCB utilise a priori le champ étroit. Le Cougar n'est donc probablement pas visible par l'intermédiaire de la caméra du Tigre.

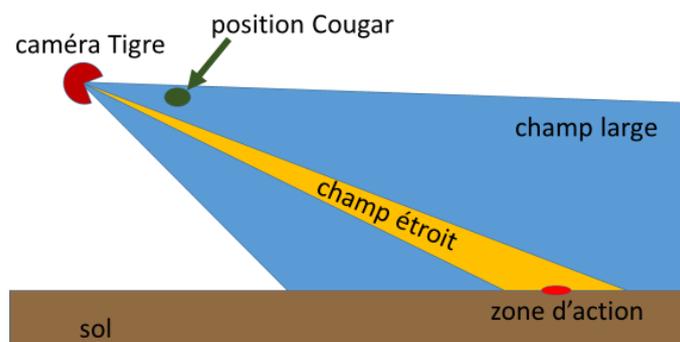


Figure 17 : schéma représentant les champs de la caméra du Tigre à 18h33 lors du premier croisement

#### 2.1.7.2. Visibilité des feux de formation

Le calcul permet de déterminer les moments pendant lesquels les feux de formation d'un hélicoptère sont potentiellement visibles depuis l'autre.

Lors du premier croisement à 18h33, le Cougar est en roulis à gauche, ce qui masque ses feux de formation pour les membres d'équipage du Tigre situé sur sa droite. Le Tigre étant plus haut, ses feux sont aussi masqués au Cougar.

Lorsque les deux appareils sont sur des côtés opposés de leur orbite autour de la ZA, vers 18h32 et 18h34, le roulis vers l'intérieur du virage permet que les feux de formation de chacun soient géométriquement visibles depuis l'autre. Cependant la distance séparant les deux hélicoptères est trop grande pour que les feux soient perceptibles, même sous JVN.

Enfin, dans les secondes précédant l'abordage, le Tigre est plus haut donc masqué à l'équipage du Cougar. Le Cougar arrive face au Tigre et se met en virage vers la droite donc le roulis associé à l'opposé du Tigre masque ses feux.

#### 2.1.7.3. Conclusion sur la capacité de détection visuelle

Les membres d'équipage des deux hélicoptères ne font jamais mention de la détection visuelle d'un aéronef autre que les Gazelle, bien plus basses et donc visibles grâce à leurs feux de formation. Dans les secondes qui précèdent l'abordage, il n'y a aucune action brusque aux commandes ni indice vocal de détection du rapprochement. Les variations brusques de tous les paramètres de vol sont consécutives à l'abordage.

**Dans l'environnement visuel dégradé auquel ils sont confrontés, aucun des membres d'équipage des deux aéronefs n'a perçu d'indice visuel de la présence de l'autre aéronef à proximité, ni son rapprochement final et donc l'imminence de l'abordage.**

#### 2.1.8. Balises de détresse

Aucun signal de détresse de l'un ou de l'autre des hélicoptères n'a été capté. La balise de détresse du Tigre a été complètement détruite lors de l'accident ; seule la balise du Cougar a pu être expertisée.

La balise du Cougar semble intègre par son aspect extérieur. Elle est en mode automatique ; l'antenne est cassée ; la batterie a surchauffé provoquant un dégagement de gaz ; les cartes électroniques sont endommagées et ne sont plus fonctionnelles. Ces éléments correspondent à une tentative d'émission de la balise qui n'a pu s'effectuer puisque l'antenne est cassée, provoquant un échauffement de la batterie jusqu'à son explosion et donc un endommagement de l'électronique. Sur l'épave, la balise a été retrouvée sur son support au niveau d'un des fragments de la queue. L'antenne est sur un fragment différent de la queue du Cougar et le câble d'antenne était arraché. Il est probable que la fragmentation consécutive à l'abordage ait séparé la balise de son antenne et empêché cette dernière d'émettre un signal malgré son déclenchement à l'impact (que ce soit avec le Tigre ou avec le sol).

**Aucune expertise n'a pu être faite sur la balise du Tigre ; cependant il est probable qu'elle n'ait pas émis de signal de détresse du fait d'un endommagement trop important à l'impact ou en conséquence de l'explosion et de l'incendie qui ont suivi.**

**La balise du Cougar s'est probablement déclenchée normalement mais la rupture de l'antenne a empêché l'émission du signal de détresse.**

## 2.2. Séquence de l'évènement

La séquence de l'évènement est la suivante :

- 18h23 à 18h25 : l'AMC demande le retrait des Gazelle et du Cougar au JTAC puis au poste de commandement de Ménaka ;
- 18h26 : le leader Tigre annonce être à 3 000 ft calage 1 013 hPa, à 2 NM ouest de la ZA et demande au Cougar de confirmer sa position ; le PCB de celui-ci répond être à 3 200 ft calage 1 013 hPa et se situer à 8 NM au nord-est de la ZA ; le Tigre annonce descendre de 200 ft pour ne pas être conflictuel en se mettant à 2 800 ft ; la fin de ce message, dont l'annonce d'altitude, n'est pas entendue par le Cougar car son PCB répond en même temps sur la même fréquence ;
- 18h26 : le Cougar arrive à la fourche du *wadi* au nord et fait demi-tour pour suivre le *wadi* vers le sud et revenir sur la ZA, sans annonce radio ;
- de 18h26 à 18h29 : le leader Gazelle fait un briefing tactique au leader Tigre sur la fréquence du module ; la patrouille Tigre reste à distance de la ZA à l'ouest en faisant une boucle ;
- 18h27 : dans le Cougar, l'AMC demande au PCB de revenir observer la ZA, ce dernier lui signale qu'ils sont en route ;
- 18h29 : le JTAC contacte les Tigre et demande un appui au nord de sa zone, près du *wadi* ; après accord de son chef de patrouille, l'ailier Tigre se sépare de son leader et part au sud vers la zone indiquée ; le leader se dirige vers la ZA en descendant à 2 600 ft puis en remontant à 2 800 ft ;
- 18h30 : le leader Tigre commence à orbiter autour de la ZA ; le PCB s'étonnant de voir passer une Gazelle sous eux, le pilote propose de monter à 3 000 ft ; ils font un récapitulatif des positions connues des autres aéronefs, puis le pilote monte à 3 000 ft et le signale sur la fréquence interne à la patrouille Tigre ;
- 18h31 : le chef de patrouille Tigre annonce au leader Gazelle s'être mis en orbite à 3 000 ft autour de la ZA et avoir envoyé son ailier « au nord » sur demande du JTAC ; en parallèle le pilote annonce sur la fréquence interne patrouille Tigre monter à 3 300 ft puis réalise cette montée ;
- 18h31 : le Cougar se met en orbite autour de la ZA ;
- de 18h31 à 18h32 : le chef de patrouille Tigre cherche à contacter son ailier sur la fréquence interne à la patrouille mais n'arrive pas à émettre de message à l'aide du poste PR4G défectueux ;
- 18h32 : l'ailier Tigre annonce passer au sud de la forêt et descendre vers 2 000 ft calage 1 013 hPa ;
- 18h32 : après plusieurs tentatives infructueuses pour émettre un message sur la fréquence interne de la patrouille Tigre, le leader Tigre effectue un changement de sélection PR4G ;
- 18h32 : à bord du Cougar, l'AMC s'enquiert de leur altitude auprès du PCB, ce dernier lui répond et indique qu'ils sont au nord et les Tigre au sud en descente vers 2 000 ft ; l'AMC commente alors qu'il laisse les chefs de patrouille se gérer entre eux ; le PCB Cougar ne s'annonce pas pour ne pas « saturer la radio » ; le PCB et l'AMC se concentrent ensuite sur les images de la caméra ;
- 18h33 : le leader Tigre et le Cougar se croisent à l'ouest de la ZA sans se voir, avec une séparation horizontale de 319 mètres et une séparation verticale de 105 ft ;
- 18h34 : le chef de patrouille Tigre se trouve haut et discute avec son pilote de la position des autres aéronefs puis lui demande de redescendre à 3 000 ft ; le pilote dit qu'il va l'annoncer ;
- 18h35 : le pilote du leader Tigre entame la descente vers 3 000 ft sans l'annoncer immédiatement ; dans le Cougar, l'AMC demande de mettre cap à l'est, le Cougar vire à droite ;
- 18h35'20" : le leader Tigre et le Cougar s'abordent, à une altitude de 3 200 ft.

## 2.3. Recherche des causes de l'évènement

### 2.3.1. Conscience erronée de la situation

L'analyse montre qu'aucun des membres d'équipage des deux aéronefs n'a détecté la présence et l'approche de l'autre aéronef. Cela résulte d'une conscience erronée de la situation par les équipages qui ont pourtant cherché régulièrement à ne pas être sur une trajectoire conflictuelle avec un autre aéronef.

#### 2.3.1.1. Équipage Tigre

À bord du leader Tigre, lorsque le pilote met l'hélicoptère en orbite autour de la ZA, le PCB est surpris de voir une Gazelle passer sous lui. Après concertation entre eux et prenant en compte la dernière position connue du Cougar (8 NM au nord-est à 3 200 ft), l'équipage décide de monter pour avoir plus de marge. Le Tigre franchit alors l'altitude de croisière du Cougar. Bien qu'il ait conscience d'être à une altitude proche, l'équipage exclut le risque de conflit avec cet hélicoptère car, pour eux, il est éloigné. Quelques secondes avant l'abordage, l'équipage décide de redescendre après avoir écarté un risque de conflit. L'équipage du Tigre pense que le Cougar est toujours loin au nord-est et n'est donc pas conflictuel malgré une altitude proche.

Par ailleurs, le Cougar, qui transporte l'AMC et assure le rôle de relais radio, évolue traditionnellement un peu en retrait et à une altitude plus élevée pour ne pas gêner les aéronefs au cœur de l'action. La position annoncée par le Cougar loin au nord-est peut donc avoir été perçue par l'équipage du leader Tigre comme la position qu'il maintiendra jusqu'à la fin de l'action.

**L'équipage du leader Tigre garde en permanence en mémoire la position connue des autres aéronefs et n'imagine pas avoir une trajectoire conflictuelle avec le Cougar, dont la dernière position transmise, à 8 NM, est cohérente avec sa fonction, alors qu'en réalité celui-ci se rapproche de plus en plus pendant les dernières minutes.**

#### 2.3.1.2. Équipage Cougar

À bord du Cougar, alors que l'équipage vient de revenir sur la ZA et se met en orbite, l'AMC cherche à connaître leur altitude. L'équipage la lui annonce sur le téléphone de bord puis précise la position des Tigres ; une confusion s'installe entre la position de la patrouille et celle de l'ailier Tigre, qui s'est séparé de son leader. En effet l'AMC n'a ni ordonné ni suivi directement la séparation entre les deux Tigres, fruit d'une entente directe avec le JTAC. Avant d'arriver en orbite, le pilote avait signalé avoir le visuel sur les Gazelle mais il ne mentionne pas l'absence de visuel sur les Tigres.

La confusion a pu être causée par l'annonce du PCB du leader Tigre qui dit avoir envoyé son ailier « au nord », sans préciser qu'il parle a priori par rapport au *wadi*, alors que ce dernier est parti au sud de la ZA, point de référence utilisé par l'équipage du Cougar. L'équipage du Cougar a alors pu penser que le leader Tigre était loin, au sud du *wadi* en orbite autour des troupes françaises au sol, avec son ailier un peu au nord au niveau du *wadi* ; les deux seraient alors au sud de l'incendie. De plus, le leader Tigre lors de son annonce de position à 18h26 et l'ailier Tigre lorsqu'il annonce être au sud de l'incendie à 18h32 utilisent la même phraséologie (pronom indéterminé « on » pouvant être utilisé au singulier ou au pluriel), alors que dans le premier cas le message est applicable à l'ensemble de la patrouille et dans le second cas à l'ailier seulement.

**L'équipage du Cougar, n'ayant pas perçu les indices permettant de comprendre que la patrouille Tigre s'est séparée, pense n'avoir aucun conflit de trajectoire possible avec les autres aéronefs. Il déduit des messages radio que la patrouille de Tigre est au sud et descend vers 2 000 ft, alors que seul l'ailier Tigre suit cette trajectoire.**

#### 2.3.1.3. Processus d'élaboration d'une conscience de la situation

Dans le contexte d'une opération de combat avec de nombreux acteurs, qui constitue une opération complexe, dynamique et à risque, et faute de la présence d'un système de positionnement dynamique des acteurs, il est difficile pour les équipages de maintenir une conscience de la situation à jour. Une erreur peut facilement être commise et peut demeurer difficile à détecter. Lors de ces missions, les décisions sont prises sous pression temporelle, sous contraintes et avec les ressources du moment. Elles sont le résultat du compromis cognitif élaboré dans le moment par l'opérateur pour faire face à la situation rencontrée. Si, a posteriori, ces décisions peuvent être parfois considérées comme non optimales par un observateur extérieur, elles restent néanmoins la solution retenue par l'opérateur pour gérer au mieux les objectifs souvent contradictoires qu'il a à atteindre et les risques auxquels il doit faire face. C'est dans ces conditions,

aux limites des capacités perceptives et cognitives humaines, mais aussi aux limites des capacités technologiques et organisationnelles du moment, qu'il est nécessaire d'avoir des indices clairs et évidents permettant de se rendre compte d'une erreur dans la représentation mentale de la situation que chacun entretient. Chaque membre d'équipage maintient sa représentation mentale suivant un processus « par le haut » : avec une recherche d'information en fonction de ce que l'on attend de la situation et de ce que l'on a compris de cette situation. En effet, dans les phases de l'activité où la charge de travail est importante, il est impossible pour les opérateurs de traiter toutes les informations présentes dans leur environnement. Aussi, tant que les informations perçues correspondent à la situation attendue par l'opérateur, les ressources cognitives restantes seront utilisées par l'opérateur pour d'autres tâches. C'est seulement lorsque des indices indiqueront à l'opérateur que sa situation mentale ne correspond pas à la situation réelle qu'il aura recours à un processus « par le bas » avec lequel on recherche des informations pour comprendre la situation et anticiper son évolution, afin de se reconstruire une situation mentale correcte.

**Il est certain que les équipages ont une conscience erronée de la situation, qui continue d'évoluer. En cours d'action, toute conscience erronée de la situation nécessite, pour être corrigée et reconstruite, de percevoir des indices susceptibles de la remettre en cause.**

Il s'agit donc de rechercher les causes ayant provoqué puis empêché de détecter les erreurs dans la construction de cette représentation mentale de la situation.

### 2.3.2. Absence ou inutilité des aides à la détection

Les aéronefs évoluent dans un espace aérien non contrôlé, hors de toute couverture radar. Les règles pour cet espace, édictées par le JFAC AFCCO (cf. paragraphe 1.16.3), se basent sur le principe « voir et éviter ». Les membres d'équipages sont donc dépendants de leurs capacités de détection propres et de celles des systèmes de leurs aéronefs pour assurer l'anti-abordage. Cependant, les hélicoptères de l'ALAT ne sont pas équipés de système d'alerte anti-abordage ou permettant de connaître et de visualiser la position relative précise des aéronefs environnants. Notamment, les systèmes tactiques permettant d'afficher la position d'autres éléments sont statiques et nécessitent une entrée manuelle des coordonnées. Aucun membre d'équipage ou chef de dispositif ne dispose d'une vue globale à jour de la situation aérienne générale. Chacun doit se construire mentalement une conscience de la situation à partir d'autres moyens.

À bord des hélicoptères, les systèmes permettant d'aider à connaître la position d'un autre aéronef sont le TACAN air-air qui donne une distance entre deux aéronefs et le DF qui donne la direction de provenance d'une émission radio. Mais ce dernier n'équipe que le Cougar et l'équipage ne semble pas l'utiliser. Le TACAN air-air affiche seulement une distance. Il n'a pas de logique de déclenchement d'alerte si celle-ci devient trop faible. Ce dispositif impose donc une surveillance régulière de cette distance pour détecter un rapprochement dangereux et ne permet pas de connaître le gisement<sup>20</sup> de l'aéronef provoquant ce danger.

#### 2.3.2.1. Utilisation des systèmes d'aide à la vision de nuit

En situation de combat de nuit, les aéronefs volent feux éteints hormis les feux de formation. Ceci empêche toute détection visuelle autre que fortuite d'un autre aéronef conflictuel, surtout par une nuit très sombre où l'absence de lumière empêche de repérer l'aéronef lui-même. En effet, la seule source lumineuse permettant de repérer un aéronef serait les feux de formation, mais ceux-ci ne sont pas ou peu visibles depuis un aéronef volant à une altitude proche, dans les secteurs avant ou latéraux, donc conflictuel. Ainsi, le long balayage visuel nécessaire à l'utilisation efficace de JVN, dont l'angle de visibilité est très réduit, rend hasardeux la détection d'un autre aéronef ayant une trajectoire convergente à même altitude.

De plus, lors de l'évènement, la visibilité est fortement dégradée par l'incendie au sol qui induit une gêne visuelle importante en provoquant une saturation des JVN et un effet de halo. Tout un secteur de plusieurs degrés à dizaines de degrés de largeur (pour les aéronefs en orbite autour de la ZA) n'est donc pas ou peu observable à travers les JVN. Sur le plan cognitif, l'effet de halo ou l'amputation d'une partie de l'image JVN par une source lumineuse a pour conséquence habituelle d'engendrer la mise en place de comportements d'évitement de ce secteur visuel par les pilotes. Ils s'abstiennent de regarder en direction de la source lumineuse qui provoque cette gêne, ce qui réduit le champ de vision effectif.

<sup>20</sup> Gisement : angle que forme une direction donnée par rapport à l'axe de l'aéronef, dans le plan horizontal.

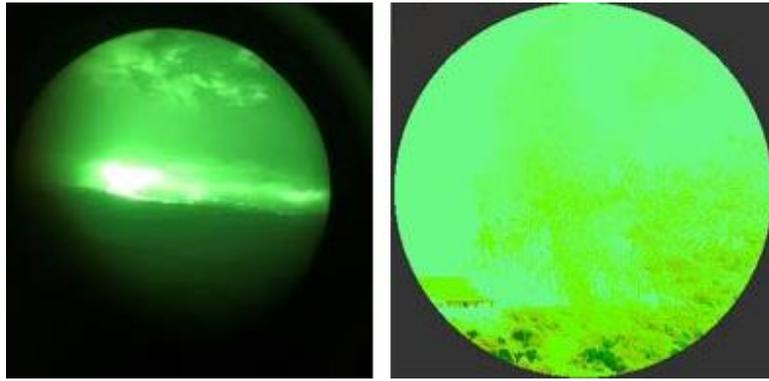


Figure 18 : exemple de visualisation d'un incendie à travers des JVN, au loin à gauche et de près à droite

L'utilisation des caméras thermiques aurait pu être une aide à la détection visuelle. Cependant celles-ci étaient toutes pointées vers le sol et ne permettaient pas de repérer un autre aéronef en vol à une altitude proche.

**L'absence de système d'aide utile à la détection des aéronefs environnants et à la prévention des abordages, dans l'environnement visuel très dégradé au moment de l'évènement et dans le contexte d'une mission de combat avec les feux des aéronefs volontairement éteints, rendent l'application de la règle « voir et éviter » pour la détection d'un abordage imminent inefficace. La prévention des abordages lors de l'évènement repose uniquement sur la surveillance de la distance TACAN et sur la communication en amont pour se coordonner.**

La faillibilité du principe « voir et éviter » a déjà été constatée en entraînement de jour dans le rapport d'enquête T-2018-02-A du BEA-É, concernant l'abordage en vol de deux Gazelle de l'ALAT, et se révèle encore plus patente en opération de nuit. Ce rapport, diffusé quelques mois avant cet accident, est connu des équipages rencontrés au GTD-A. Se contenter de ce seul principe pour assurer l'anti-abordage n'est pas suffisant car il n'est pas résilient en cas d'erreur.

#### 2.3.2.2. Défaillance de la surveillance de la distance TACAN

La distance mesurée et affichée par les TACAN air-air des deux aéronefs est le seul indice physique qui aurait pu alerter les équipages d'un rapprochement dangereux et remettre en cause leur représentation mentale erronée de la situation. Notamment, la distance affichée à 18h33 descend à un minimum de 0,2 NM, puis tend vers zéro à 18h35 jusqu'à l'abordage. Or, l'utilisation du TACAN air-air n'est pas formalisé comme moyen de déconfliction dans la documentation de l'ALAT.

À bord du Tigre, la distance TACAN est affichée seulement pour le pilote. Alors en orbite autour de la ZA et l'ailier étant parti loin au sud, il est probable que son balayage visuel se concentre sur l'intérieur du virage pour maintenir sa distance par rapport à la ZA. Il ne surveille pas la distance TACAN qu'il peut avoir jugée peu utile au regard de l'éloignement réel de l'ailier et de l'éloignement supposé du Cougar, d'autant plus que la surveillance de cette distance pour s'assurer qu'elle reste à une valeur acceptable ne fait pas partie des procédures enseignées. Ainsi, il ne détecte pas la diminution de la distance affichée lorsque le Cougar se rapproche.

À bord du Cougar, malgré l'évocation du TACAN par l'AMC et le PCB lors de l'arrivée des Tigre sur zone, il n'en est plus fait mention non plus par la suite. Il est probable que la distance n'ait pas été surveillée, le Cougar étant isolé des autres aéronefs la plupart du temps. D'autres informations de la planche de bord, notamment l'image caméra, attirent davantage l'attention de l'équipage.

**La probable focalisation des membres d'équipage sur l'objectif et la mission sol ainsi que leur conscience erronée de la situation ont entraîné une surveillance insuffisante du TACAN, dont l'emploi dans le cadre de la déconfliction n'est pas formalisé.**

### 2.3.3. Gestion de la communication

Dans les conditions de l'évènement, la communication entre les équipages est presque la seule barrière permettant d'empêcher l'accident en maintenant à jour une conscience de la situation représentative de la réalité. La situation est par nature fragile et donc peu tolérante à l'erreur. Or, plusieurs défaillances ont été repérées dans la communication, entraînant et maintenant une conscience erronée de la situation par les équipages.

#### 2.3.3.1. Prise en compte des risques d'abordage en amont de la mission

Six mois avant l'évènement, après plusieurs rapprochements dangereux, la mission multidimensionnelle intégrée des Nations Unies pour la stabilisation au Mali (MINUSMA) a alerté le GTD-A du risque imminent d'abordage en vol d'aéronefs dans le nord du Mali. Un incident a notamment eu lieu à Gao où un Tigre et un autre aéronef au roulage sont presque entrés en collision au sol de nuit. Le plan de sécurité du mandat du GTD-A en cours mentionne ce risque, mais le limite principalement à la coordination avec les aéronefs hors GTD-A, sur la plateforme de Gao en particulier ; le risque considéré de collision entre aéronefs du GTD-A se limite au cas des manutentions d'aéronefs au sol pour remisage. Les consignes aux équipages du GTD-A se concentrent donc sur les phases au sol et dans la zone proche de Gao.

L'ordre partiel de l'opération en cours (*fragmentary order* ou FRAGO) n'apporte pas de précision explicite sur la coordination interne en vol en renvoyant la responsabilité de celle-ci sur les chefs de patrouille et commandants d'unité (ici l'AMC). Le cas du ralliement d'aéronefs en provenance de bases différentes (Gao et Ménaka) n'est notamment pas abordé. La décision de prendre en compte un calage altimétrique à 1 013 hPa, du fait de l'absence de station météo à Ménaka et pour pouvoir coordonner des aéronefs de différente origine (Gao ou Ménaka), a été communiquée aux équipages par oral lors de briefings précédents mais n'apparaît pas dans ces consignes.

Le manuel d'exploitation de l'ALAT définit les responsabilités des membres d'équipage pour la surveillance anti-abordage mais ne donne pas la méthodologie pour l'assurer. Il renvoie dans le paragraphe « prévention des collisions » vers les textes dédiés des états-majors, directions, organismes gestionnaires notamment, chacun à leur niveau, pour définir les procédures de prévention des collisions entre aéronefs.

Les cours de l'EALAT mentionnent qu'un étagement vertical peut être mis en place entre les aéronefs et préconisent un étagement minimal de 500 ft de nuit. Cependant aucune valeur n'est imposée et la décision est laissée au chef de patrouille ou à l'AMC.

De plus, il n'a pas été constaté l'existence d'un briefing de sécurité générique à la prise d'alerte des équipages, permettant de définir des mesures minimales de coordination, d'anti-abordage et de cas de mise en cause de la sécurité. Un tel briefing permet aux équipages de pallier un défaut de coordination et de conduite temps réel, plus facilement générateur d'erreurs, en se reposant sur des références de sécurité claires définies préalablement à la mission d'alerte et au stress associé.

La gestion du risque d'abordage en vol repose donc entièrement sur les équipages, tels que préconisé dans les textes, mais sans procédure ni consigne particulière pour appliquer ces règles.

**Les procédures et consignes concernant l'anti-abordage laissent une grande autonomie aux chefs de bord, chefs de patrouille et AMC pour la mise en œuvre de la prévention des abordages. La sensibilisation locale se concentre sur la plateforme de Gao et sur les risques liés aux intervenants hors GTD-A. Ce risque d'abordage en vol, diffus voire abstrait une fois en mission, peut donc amener les équipages à le sous-estimer et à prendre des mesures de prévention et de coordination insuffisantes.**

#### 2.3.3.2. Absence de briefing de sécurité commun

Les équipages ayant décollé sur alerte, leur très court briefing avant le décollage s'est concentré sur les quelques éléments tactiques de la mission. De plus, les cinq aéronefs partant de deux sites distincts et à des moments différents, aucun briefing commun au module n'a été réalisé avant le départ. Un tel briefing permet d'aborder des points de sécurité pour le ralliement des différents hélicoptères comme par exemple les procédures à suivre en cas d'absence ou de perte de visuel sur un autre aéronef.

Ce briefing commun n'a pas non plus été réalisé plus tard en vol, avant le regroupement, quand tous les équipages sont en contact radio. Les seuls éléments de sécurité échangés à ce moment se sont limités aux

positions et altitudes des différents hélicoptères à un instant donné. Il n'y a pas eu d'assignation de tranches d'altitudes (valeurs plafond ou plancher) en prévision des évolutions verticales, incitant les équipages à demander l'autorisation de changer de niveau et donc à une coordination sur la gestion des altitudes.

Par ailleurs la communication en amont du calage altimétrique choisi (surtout quand l'étagement en altitude est la seule mesure de déconfliction) est un élément de sécurité. La patrouille de Tigre le découvre fortuitement en arrivant sur la zone lorsque le PCB Cougar donne sa propre altitude en précisant le calage utilisé. Le fait que les aéronefs de Ménaka utilisent un calage standard à 1 013 hPa avait été communiqué précédemment aux équipages mais pas rappelé lors de la préparation du vol de l'évènement.

**En l'absence de briefing de sécurité commun et d'un cadre de sécurité de référence explicite permettant une communication en amont des consignes de sécurité, la coordination en conduite entre les hélicoptères en provenance de différentes bases est entièrement dépendante des décisions prises sur place et s'avère en pratique insuffisante.**

#### 2.3.3.3. Écarts aux règles de communication

Le manuel d'exploitation de l'ALAT définit la phraséologie pour le cas où un organisme de contrôle demande une manœuvre immédiate à un aéronef pour éviter une collision, mais ne définit pas comment les aéronefs doivent communiquer entre eux en auto-information pour éviter les abordages en espace aérien non contrôlé.

L'écoute des échanges radio entre les aéronefs dans les minutes précédant l'évènement révèle une communication de sécurité désordonnée et dégradée, caractérisée par les écarts suivants :

- une part significative des échanges n'utilise pas les indicatifs radio, que ce soit de l'émetteur ou du destinataire, provoquant un questionnement de certains membres d'équipage sur l'origine d'un message ou le risque qu'un des destinataires n'écoute pas le message ;
- l'absence de collationnement par tout ou partie des destinataires, de la plupart des messages de sécurité, supprime une barrière de sécurité essentielle, en ne permettant pas de s'assurer que ces messages ont bien été reçus par l'ensemble des personnes concernées et donc de parer aux éléments perturbateurs rencontrés avant l'évènement : manque d'attention, brouillage par des émissions simultanées et panne de radio ;
- des informations affectant la sécurité (comme les changements de position du Cougar ou la séparation de la patrouille Tigre) ne sont pas communiquées, ou le sont avec retard (après le changement de position par exemple) ;
- certains messages affectant la sécurité sont émis par l'intermédiaire d'un canal qui n'est pas accessible par certains intervenants concernés par l'information, sur la fréquence interne à la patrouille Tigre ou l'interphone de bord du Cougar notamment ;
- l'utilisation de multiples appellations pour désigner un même aéronef (indicatif, indicatif réduit, type d'aéronef, prénom ou pseudonyme du PCB ou du pilote) augmente la charge de travail mentale pour repérer qui est concerné ou non, ou de qui provient un message ; la ressource cognitive n'est alors plus disponible pour la compréhension du message lui-même ou pour une autre tâche.

Une partie de ces écarts aux règles de communication de sécurité peut s'expliquer par une forte charge mentale de travail, que ces écarts augmentent encore, et un stress important liés à la multiplicité des acteurs intervenant dans une mission complexe. Chaque patrouille et chaque équipage a ainsi focalisé son attention sur les tâches qui lui incombent, au détriment des tâches de coordination avec les différents aéronefs du module. Chaque aéronef est engagé dans son propre projet d'actions ou celui de sa patrouille, sans informer les autres. Chaque équipage semble persuadé que les autres équipages connaissent ses propres intentions.

**L'utilisation d'une phraséologie incorrecte et l'absence de collationnement systématique, combinée à l'omission et au cloisonnement des messages de sécurité qui empêchent l'ensemble des intervenants d'avoir des informations complètes et à jour, contribuent à une représentation mentale de la situation erronée. Une charge de travail mentale élevée et un potentiel stress expliquent une partie de ces écarts.**

#### 2.3.3.4. Multiplicité des canaux de communication

L'utilisation de trois canaux de communication différents (voire quatre pour les Tigre) pour chaque membre d'équipage, sans compter l'interphone de bord, complique et dégrade la qualité des communications. Cela participe notamment au cloisonnement des échanges, mentionné au paragraphe précédent.

Le grand nombre de canaux génère plusieurs discussions parallèles et rend difficile l'intelligibilité de chaque discussion parmi les autres. Par ailleurs, la plupart des intervenants étant en écoute sur l'ensemble des canaux, certains membres d'équipage ne distinguent pas, à plusieurs reprises, le canal sur lequel une communication est reçue ; ils ne parviennent donc pas à y répondre ou répondent sur un autre canal. Cette erreur de canal n'est pas détectée si les deux interlocuteurs sont en écoute sur les deux canaux en même temps. Si un troisième intervenant n'écoute qu'un seul de ces deux canaux, il n'entendra que la moitié de la discussion alors que les informations échangées peuvent l'intéresser.

Dans ce contexte de canaux multiples apparaît paradoxalement une carence de canal pour un type d'appareil : la patrouille de Gazelle n'a pas de canal propre et monopolise par moment la fréquence normalement prévue pour l'ensemble du module, avec des discussions internes à la patrouille, en n'utilisant ni indicatif ni phraséologie standard, ce qui capte une partie de l'attention des autres équipages qui cherchent à savoir s'ils sont concernés.

Enfin, même si les communications relatives à la sécurité sont concentrées sur un seul canal (la fréquence réservée au module), certains de ces messages peuvent ne pas avoir été entendus ou compris. Ainsi, le message du chef de patrouille Tigre annonçant qu'il est en orbite autour de la ZA à 3 000 ft est concomitant d'une part à l'annonce de son pilote indiquant qu'il va monter à 3 300 ft, qu'il n'entend probablement pas, et d'autre part à une discussion entre le pilote et le PCB du Cougar, ce qui ne permet pas de savoir si ce message a été entendu par ces derniers.

**La multiplicité des canaux de communication et la complexité de la mission ont augmenté la charge mentale de travail des équipages. De nombreux messages se superposent et ne sont pas entendus par leurs destinataires.**

#### 2.3.3.5. Difficulté du contrôle de l'altitude par un PCB sur Tigre HAD

Lorsque le chef de bord d'un Tigre HAD configure son poste de pilotage pour une mission de combat, ses écrans sont occupés par la vue caméra et un affichage tactique. Il n'a les paramètres de l'hélicoptère que sur sa visière de casque. Or, l'affichage sur cette visière comporte la hauteur mesurée par la radiosonde mais pas l'altitude. Cette information de hauteur est affichée en vision périphérique et nécessite une attention spécifique pour être exploitée. S'il veut connaître l'altitude afin de contrôler sa position par rapport aux autres aéronefs ou au relief, il lui faut changer l'affichage d'un de ses écrans ou demander cette information au pilote, ce qui lui impose dans chaque cas une charge mentale supplémentaire.

Ainsi, lorsque le pilote du leader Tigre monte à 3 300 ft à 18h31, le PCB annonce en même temps à la radio être à 3 000 ft car c'est la dernière information que lui a donnée son pilote. Comme il parle à la radio, il n'entend pas le pilote annoncer cette information et ne détecte pas immédiatement la montée. Quelques minutes plus tard, après un échange verbal sur leur altitude, le PCB demande à son pilote de redescendre à 3 000 ft.

La fréquence étant momentanément occupée, le pilote entame la descente et l'abordage intervient avant qu'il n'ait fait l'annonce de ce changement, sans réaction du PCB qui n'a probablement pas détecté la descente.

**L'ergonomie du poste de pilotage du PCB du leader Tigre ne lui permet pas d'avoir une information directe d'altitude et l'empêche de détecter l'initiative du pilote de monter à 3 300 ft, comme son action de descendre avant l'abordage. Ce problème d'ergonomie ne permet pas de détecter et de récupérer le défaut de communication entre le pilote et le PCB concernant l'altitude de vol.**

#### 2.3.4. Absence de définition de références communes

Les communications concernant les positions de chacun ne sont pas standardisées et mélangent différentes unités et points de référence. Ainsi, les positions verticales sont exprimées par les différents équipages en altitude ou en hauteur, en pieds ou en mètres. Les positions horizontales sont exprimées relativement à la ZA, à l'incendie ou au *wadi*, parfois de manière vague. La ZA est parfois désignée par plusieurs autres termes non explicites, comme le « *point* ». Il n'y a pas eu de désignation d'un point de référence unique au sol pour donner les positions horizontales. De plus les directions ne sont pas toujours données par rapport à un point de référence. Par exemple, le chef de patrouille Tigre annonce avoir envoyé son ailier « au nord » à 18h31, que l'on peut comprendre comme étant par rapport au *wadi*, puisque l'ailier est parti vers le sud de la ZA et de l'incendie. Chaque annonce de position nécessite une conversion et une interprétation des informations communiquées, augmentant le risque d'erreur et la charge mentale nécessaire pour assurer la sécurité.

**L'absence de références communes uniques alourdit la charge mentale des équipages. Un effort supplémentaire d'interprétation des communications liées à la sécurité est nécessaire, et représente une source d'erreurs.**

#### 2.3.5. Charge mentale élevée et faible expérience dans certaines fonctions

##### 2.3.5.1. Chef de patrouille Tigre

###### 2.3.5.1.1. Panne d'émission radio du leader Tigre

La panne intermittente de la radio PR4G a été résolue en changeant de poste radio. Cependant, pendant les quelques minutes avant ce changement, les communications en interne de la patrouille Tigre ont été ralenties et rendues moins efficaces. La panne a capté l'attention du chef de bord du leader Tigre.

**La panne intermittente du poste radio PR4G du leader Tigre a compliqué les communications avec l'ailier, a augmenté la charge de travail mentale du PCB et a focalisé temporairement son attention sur ce problème.**

###### 2.3.5.1.2. Expérience modeste

La formation des officiers de recrutement direct de l'ALAT prévoit qu'ils soient qualifiés chef de patrouille à la fin de leur cursus de formation initiale. Le chef de patrouille Tigre est affecté en unité depuis à peine un an après avoir terminé sa formation de pilote. Son expérience en vol est faible et il réalise sa première opération extérieure. Compte-tenu de cette expérience encore limitée, il est probable que son expertise soit encore en développement, tant sur l'appareil qu'en ce qui concerne ses fonctions de chef de bord et de chef de patrouille. Le jour de l'évènement, beaucoup de décisions concernant la patrouille lui sont proposées par son ailier, plus expérimenté, qui lui prodigue des conseils lors du transit vers la zone d'action.

Pour le chef de patrouille, cette expertise peu consolidée rend l'atteinte d'un état de surcharge cognitive plus rapide. Il ne peut pas réaliser de nombreuses tâches en parallèle selon un mode de contrôle de l'activité basé sur des routines coordonnées robustes. Dans les minutes qui précèdent l'accident, le chef de patrouille Tigre enchaîne successivement un briefing tactique dense avec le chef de patrouille Gazelle, la gestion d'un problème de radio, la gestion de son ailier détaché au profit des troupes au sol, tout en observant et interprétant les images de la zone d'action. Suite à son message à 18h30 pour indiquer sa position et son altitude, il se concentre sur les aspects opérationnels de la mission. Dans ces circonstances, le PCB n'a plus la capacité d'assurer les tâches de surveillance de sa trajectoire et de l'anti-abordage, dont l'exécution incombe au pilote, conformément aux pratiques de l'ALAT.

**Au regard de la complexité de la situation tactique du moment et de la modeste expérience du chef de patrouille Tigre, un état de surcharge cognitive est probable et peut avoir impacté défavorablement une communication fluide et complète avec son pilote pour assurer la sécurité. De fait, il ne peut pas contribuer davantage à la synergie du module.**

### 2.3.5.2. AMC

#### 2.3.5.2.1. Expérience faible sur Cougar

L'expérience de l'AMC à cette fonction n'a pas pu être mesurée. Il a été formé à cette fonction au cours de sa formation de commandant d'unité un an et demi auparavant mais le nombre et la complexité des missions qu'il a commandées en tant qu'AMC ne sont pas tracées. De plus, durant cette période il a subi une interruption d'activité pendant plusieurs mois pour des raisons médicales.

Par ailleurs, l'AMC a acquis son expérience de personnel navigant principalement sur hélicoptère Tigre et il est beaucoup moins familier de l'hélicoptère Cougar, notamment en tant qu'AMC en soute. Pendant la première partie du vol, il est ainsi obligé de solliciter le MVAVT pour chaque changement de fréquence d'émission. À plusieurs reprises il n'appuie pas correctement sur l'alternat et peine à émettre son message. Après avoir été rapidement informé par le MVAVT sur les boutons du boîtier de commande à utiliser pour sélectionner lui-même la fréquence d'émission, il s'en charge mais n'effectue que très peu de ces changements. Il préfère demander plusieurs fois au PCB du Cougar de passer un message sur la fréquence module plutôt que de le faire lui-même, probablement pour éviter des manipulations de changement de fréquence.

**Au regard de son expérience limitée sur Cougar, l'AMC préfère confier au PCB du Cougar le rôle d'émettre les messages plutôt que de devoir faire des manipulations sur le boîtier de commande qu'il ne maîtrise pas encore.**

#### 2.3.5.2.2. Mise en retrait de l'AMC

L'AMC semble en retrait sur les questions concernant la déconfliction des différents aéronefs sous ses ordres, au bénéfice de la gestion des règles d'engagement de l'opération.

Ainsi, à leur arrivée sur la zone, l'AMC laisse le PCB du Cougar gérer seul la coordination avec les Tigre. Il ne coordonne pas le Cougar avec les deux patrouilles, bien que sa fonction d'AMC lui donne ce rôle. De ce fait, les chefs de patrouille Tigre et Gazelle se coordonnent entre eux mais se soucient moins du Cougar, dont la dernière position qu'ils connaissent leur semble éloignée.

Par ailleurs, quand les différentes communications entre les hélicoptères perdent en précision, l'AMC n'impose pas des références uniques et une phraséologie standard. Il n'intervient pas non plus quand les Gazelle s'annoncent encore en orbite sur la ZA alors qu'il leur avait demandé de se décaler à l'est du *wadi*.

Dans son poste précédent, l'AMC a été confronté à un évènement opérationnel concernant les règles d'engagement l'ayant fortement marqué psychologiquement. C'est pourquoi il se concentre sur la mission au sol, la question du respect des règles d'engagement et la visualisation des images de la caméra, avec une forte pression venant des troupes au sol. Ainsi, il est moins disponible pour gérer la déconfliction, qu'il peut penser avoir gérée par son message à l'arrivée des Tigre. Pour se libérer des ressources mentales, il délègue cette gestion aux chefs de bord et aux chefs de patrouille, mais il n'informe que le PCB du Cougar de cette délégation. Il n'informe notamment pas le JTAC, qui a par formation la capacité à reprendre à son compte la gestion de la déconfliction des aéronefs.

À ce titre, il n'existe pas de texte de l'ALAT définissant clairement la répartition des rôles entre JTAC et AMC lorsqu'un AMC de l'ALAT s'insère dans le dispositif.

**Focalisé sur la question du respect des règles d'engagement qui lui prend toute son attention, l'AMC est peu investi dans la nécessaire communication pour assurer la coordination des aéronefs sous ses ordres. Cette mise en retrait peut s'expliquer par une précédente expérience marquante liée aux règles d'engagement. Aucun autre intervenant ne reprend ce rôle à sa place.**

### 2.3.5.2.3. Subsidiarité accordée à l'AMC

La responsabilité accordée à l'AMC ne s'étend pas jusqu'à l'autonomie de décision permettant d'adapter le dispositif à la situation tactique en temps réel. À partir de 18h23, l'AMC réalise que les moyens aériens sont surdimensionnés par rapport à l'évolution de la situation tactique et veut alléger le dispositif. Pour cela, il doit néanmoins faire la demande à un niveau supérieur à son interlocuteur direct, ce qui génère un temps d'attente pénalisant pour la situation aérienne en cours. Les équipages sont dans l'expectative pour savoir ce qu'on va leur ordonner tout en poursuivant leurs manœuvres. La situation aérienne continue donc à évoluer et à se modifier, alors qu'il n'y a pas d'actualisation des ordres relatifs à la sécurité. Ce temps de flottement dans la prise de décision est préjudiciable à la sécurité aérienne et potentiellement contributif de l'évènement.

**Le manque de subsidiarité accordé à l'AMC limite la prise de décision en temps réel et se révèle préjudiciable à la sécurité aérienne.**

### 2.3.6. Focalisation de l'attention et priorisation de la mission

#### 2.3.6.1. Investissement dans la mission et émergence d'une nouvelle mission

L'ensemble des militaires décolle sur alerte pour venir en appui de camarades qui ont subi des tirs au sol. La motivation et l'implication dans la mission sont donc fortes et immédiates. La mission occupe la quasi-intégralité des discussions entre les personnels. Ils mentionnent leur motivation à pouvoir être intégrés à l'action de combat en cours.

Cependant, une fois sur la ZA, l'intention de tir exprimée avec insistance par le JTAC va à l'encontre de la perception de la situation tactique des équipages en vol. Les troupes au sol n'ont pas les mêmes moyens d'observation et pas le même point de vue sur la situation. Cette divergence d'appréciation relative aux règles d'engagement, qui mobilise des questions éthiques, placent les chefs de patrouille et l'AMC dans une situation de profond dilemme. Tous les équipages se concentrent donc sur des recherches via les caméras thermiques pour pouvoir statuer sur la possibilité d'ouverture du feu avant l'arrivée de la patrouille d'avions de chasse. Lors de cette recherche, le Cougar revient à nouveau vers la ZA pour l'observer à l'aide de la caméra thermique. Cette activité supplémentaire et d'opportunité que se fixent les membres d'équipage du Cougar n'était pas prévue initialement (le Cougar avait deux missions : emport de l'AMC et IMEX) et s'est ajoutée aux tâches que réalise l'AMC.

En dehors des évolutions à très basse hauteur, l'utilisation de la caméra optronique sur un Cougar n'est pas encadrée par une doctrine permettant d'en définir l'emploi. L'équipage peut donc librement choisir de s'ajouter cette mission de renseignement par l'image, consommatrice de ressources mentales et avec un fort effet attracteur sur l'attention.

Dans les minutes qui précèdent l'abordage, l'ensemble des caméras thermiques est pointé sur la ZA : le PCB du Tigre commente ces images jusqu'à l'abordage ; à bord du Cougar, le PCB, le MVAVT et l'AMC sont concentrés sur ces images jusqu'à quelques secondes avant l'abordage quand l'AMC demande de se déplacer vers l'est.

En parallèle, des discussions sur les règles d'engagement monopolisent une grande partie des échanges, surtout pour l'AMC, en contact avec le poste de commandement de Ménaka et le JTAC.

**Les équipages sont très investis dans la mission et concentrés sur les images des caméras thermiques, afin de lever le doute sur les règles d'engagement et de résoudre une question éthique soulevée par un problème de différence de perception entre les troupes au sol et les équipages en vol. Cette mission de renseignement par l'image est venue s'ajouter aux missions déjà prévues pour le Cougar, augmentant la charge de travail et captant l'attention de l'équipage, sans qu'il n'existe de doctrine permettant de cadrer cet emploi.**

### 2.3.6.2. Focalisation sur les images des caméras

À bord du Cougar, cette focalisation sur la mission amène trois membres d'équipage (PCB, MVAVT et AMC) à être concentrés sur des écrans en cabine pour visualiser les images caméra, laissant le pilote seul pour gérer la conduite du vol. Cette répartition des tâches n'est ni compatible avec la sécurité, ni conforme à ce qui est enseigné lors des modules *crew resource management* (CRM, gestion des ressources équipage). Cette mission de renseignement à l'aide de la caméra, bien qu'envisagée par l'équipage dès la mise en route de l'hélicoptère, n'entre pas dans la liste des missions ordonnées et planifiées pour le Cougar.

La formation « qualification opérationnelle Cougar » est obligatoire avant tout déploiement en opérations extérieures, tel qu'écrit dans le programme de formation validé par l'EALAT. Cette formation comporte une partie « vol tactique nuit », facultative. Les équipages Cougar du 5<sup>e</sup> RHC n'étant pas amenés à faire du vol tactique de nuit, les chefs de corps successifs ont décidé de ne pas leur faire réaliser cette partie « vol tactique nuit ». Or, celle-ci inclut un module CRM relatif à l'utilisation de la boule optronique, incluant une partie consacrée à la répartition des tâches au sein de l'équipage. Ce module axé sur le fonctionnement de l'équipage a manqué aux membres de l'équipage de conduite et au chef de mission, ce dernier volant par ailleurs principalement sur Tigre et étant donc moins habitué au travail d'un équipage plus nombreux sur hélicoptère de manœuvre. En l'espèce, leur attention a été captée par la caméra au détriment de la communication et de la sécurité.

**L'équipage du Cougar s'est concentré sur la mission d'acquisition de renseignement par l'image. Or il n'a pas suivi la formation CRM adaptée, susceptible d'apprendre aux équipages à éviter toute focalisation de l'attention au détriment de la conduite d'aéronef et de la sécurité. Ce défaut de formation a contribué à l'évènement.**

### 2.3.6.3. Priorisation des objectifs de la mission au sol sur la gestion du risque d'abordage en vol

La forte implication des équipages dans la mission amène à prioriser le suivi de la situation au sol sur des considérations de sécurité des vols, considérées gérées, comme la gestion du risque d'abordage :

- le PCB du Cougar n'annonce pas le retour du Cougar sur la ZA car il ne pense pas avoir de trajectoire conflictuelle avec un autre aéronef et ne veut pas saturer la fréquence radio, surtout utilisée pour des discussions liées à l'évolution de la situation au sol ;
- l'AMC laisse les chefs de patrouille se coordonner entre eux, pour pouvoir se concentrer sur l'image de la caméra, la situation au sol sur la ZA et garantir le cas échéant le strict respect des règles d'ouverture du feu.

Cette réorientation de la charge mentale ne permet plus de pouvoir remettre en cause la conscience de la situation aérienne.

Cette tendance à favoriser le suivi d'une situation tactique de surface au détriment de la gestion du risque aérien peut trouver sa source dans la culture de l'armée de Terre dont est imprégnée l'ALAT. On y observe un certain « culte de la mission » qui, s'il est positif à bien des égards, peut parfois inciter à sous-évaluer certaines autres considérations dont l'impératif de sécurité lorsque la charge mentale des équipages est déjà importante.

**Une priorisation par les équipages des objectifs opérationnels peut être de nature à amoindrir la gestion du risque d'abordage. Elle est la source de plusieurs défaillances de communication à l'origine de l'évènement.**

### 3. CONCLUSION

L'évènement est un abordage en vol de deux hélicoptères en mission de combat.

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

Une patrouille de deux Gazelle puis un Cougar embarquant six commandos et un AMC décollent de Ménaka sur alerte ; en parallèle une patrouille de deux Tigre décolle de Gao sur alerte. Pour l'ensemble de ces hélicoptères, la mission consiste à appuyer des troupes françaises au sol qui ont essuyé des tirs d'un groupe armé terroriste. Les Gazelle arrivent en premier sur la zone à la tombée de la nuit, suivies du Cougar. Le Cougar surveille la zone avec sa boule optronique, mission qui n'était pas initialement prévue ; les Tigre arrivent environ une demi-heure plus tard. Par une nuit de niveau 5, l'ensemble des hélicoptères vole feux éteints à part les feux de formation ; les équipages sont tous équipés de JVN. La zone d'action (ZA) qui est au centre des trajectoires des différents hélicoptères en orbite se situe proche d'un incendie de grande étendue, au nord d'un *wadi*. L'incendie dégrade très fortement la visibilité sous JVN. Les troupes françaises au sol sont au sud du *wadi*.

Les hélicoptères se coordonnent pour être à des altitudes différentes. Les codes TACAN des aéronefs équipés (Cougar, Tigre) sont annoncés ; ils sont identiques pour le Cougar et l'ailier Tigre. Après avoir fait un briefing de relève sur l'ordre de l'AMC avec le chef de patrouille Gazelle, le leader Tigre envoie son ailier survoler les troupes au sud et se met en orbite autour de la ZA en changeant plusieurs fois d'altitude. Le leader Tigre a un problème technique sur sa radio qui gêne les communications avec son ailier. Dans le même temps, le Cougar qui est parti surveiller le *wadi* au nord-est à l'aide de sa boule optronique revient orbiter autour de la ZA sur demande de l'AMC et sans annonce radio pour signaler ce mouvement.

Le leader Tigre et le Cougar se croisent une première fois sans se voir à un peu plus de 300 mètres de distance et 100 ft d'écart vertical. Quelques minutes plus tard, le Cougar entame un lent virage à droite et le Tigre une descente qu'il n'a pas encore annoncée. Le Cougar et le leader Tigre s'abordent en vol sans qu'aucun membre d'équipage n'ait détecté l'approche de l'autre aéronef.

Les hélicoptères sont correctement entretenus et n'ont pas de problème technique, hormis une panne d'émission intermittente sur un des postes radio du leader Tigre qui gêne les communications avec son ailier, problème résolu quelques minutes avant l'accident par un changement de poste radio. L'enregistrement vidéo du leader Tigre n'est pas disponible suite à une panne du boîtier associé. Les équipages ont le contrôle de leur aéronef pendant tout le vol et ceux-ci sont intègres et ont des performances nominales jusqu'à l'abordage.

#### 3.2. Causes de l'évènement

L'abordage n'a pu être évité car les équipages n'ont pas détecté la présence de l'autre aéronef. Leurs consciences respectives de la situation étaient erronées. Les causes relèvent exclusivement du domaine des facteurs organisationnels et humains.

Dans le contexte fortement dynamique, complexe et à risque d'une opération de combat, la sécurité repose principalement sur la coordination des aéronefs et donc la communication. Les équipages ont élaboré une conscience de la situation erronée menant à une situation de risque d'abordage imminent, en raison d'une coordination et d'une communication défaillantes provoquées par les problèmes suivants :

- une absence de cadre règlementaire précis dans l'ALAT pour la gestion de la déconfliction des aéronefs ;
- une absence de briefing de sécurité commun à l'ensemble des intervenants, qu'il soit générique ou effectué en conduite ;
- des omissions de messages de sécurité ou une utilisation d'un canal auquel l'ensemble des intervenants n'a pas accès ;
- une phraséologie imprécise et une absence de collationnement des messages de sécurité ;
- une multiplicité de canaux de communication compliquant l'intelligibilité des discussions parfois simultanées ;
- une absence de références communes et uniques pour signaler les positions des aéronefs ;

- une charge mentale accrue pour le chef de patrouille Tigre et l'AMC, en raison d'une expérience en construction et d'une panne intermittente d'émission radio du leader Tigre ;
- une ergonomie perfectible du poste de pilotage du PCB Tigre HAD ne permettant pas un contrôle immédiat de l'altitude ;
- pour l'AMC, une communication d'ordres en direct par l'interphone de bord, ne permettant pas aux autres aéronefs de les connaître, et un manque de subsidiarité dans ses décisions permettant d'adapter le dispositif à la situation tactique en temps réel ;
- une focalisation de l'attention des membres d'équipage sur la zone d'action et sur les images des caméras, notamment pour les membres d'équipage du Cougar qui se sont saisis d'une mission de renseignement par l'image et n'ont pas suivi de formation CRM pour l'emploi de la caméra, en l'absence de doctrine d'emploi pour cet outil ;
- une préoccupation liée à un dilemme éthique sur les règles d'ouverture du feu mobilisant les équipages et particulièrement l'AMC, sensibilisé par un évènement antérieur, ce qui le détourne de son rôle de coordination des aéronefs qu'il ne délègue pas explicitement ;
- un déséquilibre de priorisation entre l'implication dans les objectifs opérationnels de la mission d'une part et les impératifs de sécurité et de la gestion du risque d'abordage d'autre part.

Certaines de ces défaillances peuvent avoir été provoquées par une charge mentale de travail élevée pour les équipages en lien avec la complexité de la mission, notamment en nombre d'intervenants et avec la pression des troupes au sol. Aucun membre d'équipage n'a pu être en mesure d'acquiescer et de maintenir une vision globale de la situation aérienne conforme à la réalité, évolutive dans les trois dimensions.

L'absence de détection de l'abordage imminent est due :

- à l'absence de système anti-abordage ou de moyen d'affichage en temps réel de la position des aéronefs environnants ;
- à un environnement visuel dégradé : nuit très sombre et utilisation de JVN, avec la présence d'un incendie au sol gênant la vision à l'aide des JVN ;
- à l'extinction volontaire des feux de position et d'anticollision dans le contexte d'une mission de combat et en l'absence de moyens adaptés de signalement lumineux ;
- à une surveillance insuffisante de la distance affichée par le TACAN, influencée par la conscience erronée de la situation ou une focalisation sur la mission et l'objectif, en l'absence d'une doctrine d'emploi du TACAN imposant cette surveillance.

## 4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

#### 4.1.1. Coordination et communication pour l'anti-abordage

##### 4.1.1.1. Règles de séparation et briefing sécurité

Les feux de formation ne permettant pas a priori de repérer un aéronef conflictuel lorsqu'il est peu étagé dans des conditions de faible visibilité, une coordination en amont est nécessaire pour éviter une situation d'abordage imminent. La coordination peut se faire par rapport à la position géographique, en altitude ou dans le temps. Il est généralement recommandé d'utiliser une combinaison de deux de ces trois paramètres pour assurer une redondance. Or, dans de nombreuses situations opérationnelles, les aéronefs de l'ALAT se retrouvent en même temps sur la même position, ce qui impose une stricte coordination en altitude. Il n'y a alors pas de résilience à l'erreur et il est nécessaire de prendre des marges de sécurité. Même dans les autres cas, il n'y a pas de procédure imposant de vérifier régulièrement les positions et les séparations pour assurer l'anti-abordage. D'ailleurs, le manuel d'exploitation de l'ALAT ne donne aucune consigne sur ce point et laisse les chefs de patrouille (ou l'AMC pour les formations plus importantes) libres de choisir l'étagement entre les aéronefs, sans indiquer de marge de sécurité acceptable en altitude. Ces problématiques de déconfliction gagneraient à être abordées dès le briefing de la mission.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de Terre de préciser les règles et procédures pour assurer l'anti-abordage des aéronefs et de préconiser à ses équipages que le rappel de ces règles ou d'éventuelles consignes de déconfliction supplémentaires soit effectué lors du briefing avant chaque mission.**

**R1** – [T-2019-15-A] *Destinataire : CEMAT*

##### 4.1.1.2. Utilisation de références communes

Afin de pouvoir repérer la position des autres aéronefs par rapport au sien et d'assurer la prévention des abordages, les annonces de position de chaque aéronef doivent utiliser des références rapidement compréhensibles et visualisables par l'ensemble de ces aéronefs.

Pour ce qui concerne la position géographique, il est préférable d'utiliser un point de référence au sol unique pour l'ensemble d'un dispositif, facilement identifiable ou repéré par ses coordonnées géographiques insérées dans un système tactique. Pour les coordonnées géographiques, l'emploi d'un système commun d'écriture est à privilégier pour éviter les conversions (de degrés/minutes/secondes à degrés/minutes/millièmes par exemple). Pour la position verticale, il faut choisir entre altitude et hauteur et définir une unité commune (mètres ou pieds).

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de Terre et à la Gendarmerie nationale d'imposer à ses équipages d'utiliser des références communes et uniques de positionnement.**

**R2** – [T-2019-15-A] *Destinataires : CEMAT, DGGN*

##### 4.1.1.3. Annonces de position

Les vastes zones d'opérations de la bande sahélo-saharienne ne disposent pas de couverture radar sur l'ensemble de leur superficie et ne bénéficient pas toujours de contrôle aérien. La déconfliction est à la charge des équipages qui doivent se coordonner entre eux. Tout aéronef ne signalant pas sa position ou son changement de position aux autres aéronefs dans sa zone met potentiellement en danger l'ensemble des aéronefs dans la zone. Un changement de position, surtout si une zone ou un bloc d'altitude ont été assignés et que ce changement va en faire sortir, doit être annoncé avant le changement et non après, afin qu'une situation potentiellement conflictuelle soit détectée en amont.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à toutes les autorités d'emploi de rappeler à leurs équipages, lorsqu'ils évoluent hors contrôle aérien, l'importance des annonces radio de position claires et régulières, des annonces d'évolutions de position avant leur réalisation, et l'urgence à signaler au plus vite toute sortie de zone, du créneau de temps et/ou du bloc d'altitude ou de hauteur assignés.**

**R3 – [T-2019-15-A] Destinataires : CEMAT, CEMAAE, CEMM, DGA, DGGN, DGSCGC, DGDDI**

#### 4.1.1.4. Phraséologie utilisée pour la déconfliction

Un aéronef qui annonce sa position ou ses intentions d'évolution, afin de permettre à un contrôleur aérien ou aux autres aéronefs de sa zone de connaître celles-ci, doit être clair dans son message afin d'éviter toute représentation erronée de la situation de la part des autres intervenants. Notamment, ces annonces de position doivent mentionner clairement si un aéronef parle pour lui-même ou pour un groupe d'aéronefs en utilisant l'indicatif radio idoine. L'utilisation de noms ou pseudonymes est à cadrer pour les messages radios impliquant la sécurité des vols, l'ensemble des intervenants ne connaissant pas toujours ces noms, et leur usage aléatoire pouvant rendre la situation confuse. Enfin le collationnement des informations relatives à la sécurité des vols est une barrière de sécurité essentielle permettant de s'assurer que ces informations ont bien été reçues.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à toutes les autorités d'emploi d'imposer à leurs équipages l'emploi d'une phraséologie claire et standardisée pour les communications relatives à la sécurité des vols.**

**R4 – [T-2019-15-A] Destinataires : CEMAT, CEMAAE, CEMM, DGA, DGGN, DGSCGC, DGDDI**

#### 4.1.1.5. Annonces du commandant de mission aéroporté

Les missions impliquant plusieurs aéronefs disposent presque toujours d'un commandant de mission en vol (chef de patrouille, AMC ou autre). Cependant dans les cas où ce commandant ordonne des déplacements à l'aéronef à bord duquel il se trouve par l'intermédiaire de l'interphone de bord, les autres aéronefs présents sur la zone ne sont pas informés de ces déplacements. Leur représentation mentale de la position des autres aéronefs est donc erronée. De même, il convient de s'assurer que les ordres relatifs à la sécurité des vols ont bien été reçus et compris par chaque aéronef.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à toutes les autorités d'emploi, de rappeler, hors contrôle aérien, aux chefs de dispositifs aériens la nécessité de s'assurer du collationnement à la radio de tous les ordres de déconfliction donnés pour tous les appareils sous leur responsabilité, y compris de celui à bord duquel ils sont embarqués.**

**R5 – [T-2019-15-A] Destinataires : CEMAT, CEMAAE, CEMM, DGA, DGGN, DGSCGC, DGDDI**

#### 4.1.2. Utilisation de la boule optronique sur hélicoptères de manœuvre

Sur Cougar NG, l'installation d'une boule optronique a transformé ses capacités d'aéronef « soute de transport » en vecteur de renseignement. Cette nouvelle capacité de renseignement par l'image attribuée aux équipages d'hélicoptères de manœuvre induit un risque de focalisation de l'attention sur ce moyen très visuel, susceptible de dégrader la sécurité des vols.

L'équipage du Cougar accidenté avait suivi la formation « qualification opérationnelle Cougar », à l'exception de la partie « vol tactique nuit ». Cette partie n'est obligatoire que pour réaliser des missions en vol tactique de nuit, à très basse hauteur, ce qui n'était pas le cas de la mission de l'évènement. Or cette partie de la formation inclut un module CRM équipage sur l'utilisation de la boule optronique, utile quelle que soit la hauteur de vol.

De plus l'utilisation d'un écran déporté permet à l'AMC en soute de s'impliquer directement dans l'analyse des images de ce capteur en plus de ses activités de commandement et de coordination aérienne, ce qui nécessite une juste répartition des tâches.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de Terre, de définir une doctrine d'emploi du dispositif optronique des hélicoptères de manœuvre équipés, qui doit formaliser le travail d'un éventuel personnel désigné en soute et ses interactions avec l'équipage de conduite.**

**R6** – [T-2019-15-A] *Destinataire : CEMAT*

**à l'armée de Terre, de rendre obligatoire dans son intégralité la formation des équipages opérationnels des hélicoptères de manœuvre équipés d'une boule optronique sur la conduite d'une mission « caméra », notamment en ce qui concerne l'aspect CRM.**

**R7** – [T-2019-15-A] *Destinataire : CEMAT*

#### 4.1.3. Dispositifs d'aide à l'anti-abordage

##### 4.1.3.1. Utilisation du TACAN air-air

L'utilisation du même canal TACAN air-air par deux aéronefs distincts lors de cet évènement montre un manque d'aisance dans l'utilisation de ce système par les équipages. Seuls les hélicoptères de nouvelle génération en étant équipés, ce moyen est peu utilisé dans l'ALAT pour évaluer la proximité d'aéronefs autres que ceux de sa propre patrouille. Les procédures enseignées n'inculquent pas la surveillance de cette information pour s'assurer que la distance mesurée reste dans des critères acceptables.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de Terre de formaliser l'utilisation et la surveillance du TACAN air-air en déconfliction aérienne, pour les aéronefs équipés.**

**R8** – [T-2019-15-A] *Destinataire : CEMAT*

##### 4.1.3.2. Système anti-abordage

Les aéronefs opérés par l'État français ne sont pas tous dotés de système anti-abordage. Notamment, les hélicoptères de l'ALAT ne sont pas dotés de système de ce type. Les systèmes les plus basiques permettent un affichage de la position approximative des aéronefs les plus proches et une représentation graphique simple et en temps réel de la situation. Ces systèmes sont essentiels dans les situations où le principe « voir et éviter » prévalant dans les conditions du vol à vue montre ses limites, notamment dans un contexte opérationnel.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à toutes les autorités d'emploi d'étudier la possibilité d'équiper les aéronefs qui ne le sont pas de système anti-abordage compatibles entre eux ; à défaut, de renforcer les procédures opérationnelles de prévention des abordages au sein des dispositifs aériens.**

**R9** – [T-2019-15-A] *Destinataires : CEMAT, CEMAAE, CEMM, DGA, DGGN, DGSCGC, DGDDI*

Le BEA-É rappelle qu'une recommandation similaire a été émise dans le rapport d'enquête T-2018-02-A, relatif à l'abordage en vol de deux hélicoptères Gazelle de l'ALAT, et préconisait déjà la solution d'installation de moyens techniques de prévention des abordages à l'armée de Terre. Cette recommandation a été prise en compte et les actions associées sont en cours.

#### 4.1.3.3. Feux lumineux

Les feux de formation sont utilisés la nuit pour repérer un autre aéronef proche afin de pouvoir maintenir sa position par rapport à lui au sein d'une formation. Leur conception les rendant non visibles depuis le sol nécessite un certain étagement positif pour réussir à les voir et empêche de repérer un aéronef évoluant à une altitude proche suivant une trajectoire conflictuelle. Dans le cas d'évolutions de plusieurs aéronefs isolés dans la même zone, dans des conditions environnementales limitatives (nuit sombre, visibilité réduite etc.), les feux de formation ne permettent pas d'assurer à eux seuls la déconfliction. Pourtant les autres feux sont parfois éteints lors de vols opérationnels de nuit pour assurer la discrétion ou éviter l'éblouissement de l'équipage (ou de celui d'un autre aéronef de la formation) sous JVN.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'ensemble des autorités d'emploi de doter leurs aéronefs de moyens de positionnement lumineux davantage visibles lors des missions opérationnelles de nuit.**

**R10** – [T-2019-15-A] *Destinataires : CEMAT, CEMAAE, CEMM, DGA, DGGN, DGSCGC, DGDDI*

Le BEA-É rappelle la première recommandation du rapport d'enquête T-2011-003-A, concernant le seul autre accident d'un hélicoptère Tigre français, qui préconisait le remplacement des feux de formation des Cougar, jugés insuffisamment lumineux et difficilement repérables pour le Tigre qui escortait alors ce Cougar. Ce remplacement n'est pas encore effectif pour l'ensemble de la flotte Cougar.

#### 4.1.4. Rôle de l'AMC

##### 4.1.4.1. Acquisition et maintien d'expérience en tant qu'AMC

Dans l'ALAT, la fonction d'AMC est associée à la fonction de commandant d'unité et le nombre d'aéronefs que l'AMC peut avoir sous ses ordres est lié au grade. De ce fait, la complexité des missions (notamment en nombre d'aéronefs impliqués) qu'un AMC peut être amené à commander n'est pas forcément corrélée avec son expérience récente en tant qu'AMC, pas toujours tracée, mais plutôt avec son temps de commandement.

De plus, le partage d'informations au titre du retour d'expérience n'est pas formalisé et un AMC acquiert donc son expérience de commandement à cette fonction principalement sur ses propres missions, en ne profitant que sporadiquement des enseignements qui peuvent être tirés des autres missions complexes.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de Terre de formaliser un référentiel de progressivité des fonctions d'AMC lié à l'expérience récente réelle pour l'affectation des missions comme AMC.**

**R11** – [T-2019-15-A] *Destinataire : CEMAT*

**à l'armée de Terre de standardiser le retour d'expérience sur les aspects tactiques et de commandement entre AMC pour favoriser l'acquisition de l'expérience et des compétences à cette fonction.**

**R12** – [T-2019-15-A] *Destinataire : CEMAT*

##### 4.1.4.2. Articulation avec le JTAC

Dans l'ALAT, un AMC garde le commandement total de ses aéronefs même en présence d'un JTAC. Ce dernier est pourtant formé pour assurer la déconfliction de l'ensemble des aéronefs présents sur sa zone, d'autant qu'il prend aussi en compte pour cela les trajectoires des tirs. Or, il est constaté que les compétences du JTAC ne sont jamais exploitées alors qu'elles pourraient l'être.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de Terre de clarifier les attributions respectives du JTAC et d'un AMC de l'ALAT sur les aspects de sécurité aérienne et de contrôle tactique.**

**R13** – [T-2019-15-A] *Destinataire : CEMAT*

#### 4.1.4.3. Subsidiarité accordée à l'AMC

L'absence de subsidiarité accordée à l'AMC entraîne un temps de latence important compte-tenu du temps de remontée de la demande et de décision. Cette latence s'accroît encore plus en l'absence de moyens de communication par satellite. Cette situation a généré un facteur supplémentaire ayant potentiellement contribué à l'évènement.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'EMA en liaison avec les armées de s'interroger sur les impacts de sécurité aérienne liés à des subsidiarités insuffisantes de décision en temps réel des acteurs de terrain.**

**R14** – [T-2019-15-A] *Destinataire : CEMA*

#### 4.1.5. Améliorations de l'ergonomie

##### 4.1.5.1. Affichage de l'altitude sur Tigre HAD

Sur Tigre HAD, la configuration standard des écrans du cockpit du chef de bord ne présente pas l'affichage de l'altitude de l'aéronef, mais seulement sa hauteur. Si le chef de bord veut connaître son altitude, il doit changer son affichage (ce qui nécessite quelques manipulations et la perte temporaire d'un affichage tactique ou de la vision caméra) ou la demander au pilote, ces deux opérations nécessitant plusieurs secondes. Une surveillance de l'altitude par le chef de bord n'est donc pas réalisable sans un surplus de charge mentale.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de Terre, en lien avec la DGA, d'étudier l'ajout sur les Tigre d'un affichage permanent de l'altitude au poste de chef de bord, de préférence sur la visière du casque comme pour la hauteur.**

**R15** – [T-2019-15-A] *Destinataires : CEMAT, DGA*

##### 4.1.5.2. Référence d'altitude et de hauteur

Pour ce qui concerne le positionnement vertical, il existe plusieurs références possibles : hauteur ou altitude, en pieds ou en mètres. L'important est d'avoir une référence unique pour l'ensemble des aéronefs présents dans la même zone. Au sein de l'ALAT, les Gazelle n'ont leurs références affichées qu'en mètres sur la planche de bord, tandis que les Cougar n'ont les références affichées qu'en pieds ; les Tigre peuvent afficher l'un ou l'autre. Les missions comportant différents types d'appareils impliquent ainsi souvent des calculs mentaux par une partie des équipages à chaque annonce d'altitude ou de hauteur, pouvant entraîner des erreurs d'interprétation.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de Terre, en lien avec la DGA, d'étudier l'opportunité d'équiper l'ensemble de ses aéronefs de moyens de mesure de l'altitude et de la hauteur permettant d'avoir une unité commune (pieds ou mètres) à l'ensemble des aéronefs.**

**R16** – [T-2019-15-A] *Destinataires : CEMAT, DGA*

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

### 4.2.1. Calage des altimètres en présence d'un Tigre

Il est nécessaire que les aéronefs utilisent le même calage altimétrique pour que la séparation verticale soit efficace. Cependant, pour être précis, le système du viseur des Tigre nécessite l'emploi du calage altimétrique au QNH. L'emploi d'un autre calage provoque donc une imprécision dans la visée. Pour contourner cette difficulté, les équipages peuvent utiliser l'altimètre secours pour la coordination avec les autres aéronefs (en utilisant le calage commun avec ceux-ci) et caler les altimètres normaux au QNH pour avoir une visée caméra précise. Cette solution de contournement a comme effet induit de ne plus permettre au chef de bord d'avoir accès à une information d'altitude fiable, à moins de devoir demander au pilote qui est le seul à avoir un altimètre secours.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de Terre de préconiser aux équipages d'utiliser un calage commun au QNH quand un Tigre est intégré au dispositif.**

**R17 – [T-2019-15-A] Destinataire : CEMAT**

### 4.2.2. Enregistrement des balises

Lors des recherches pour savoir si la balise du Tigre avait été détectée, il a été découvert que celle-ci était encore enregistrée dans son régiment d'appartenance, alors qu'elle aurait dû être enregistrée au GTD-A lors de l'arrivée de cet hélicoptère au Mali pour permettre une transmission rapide du signal de détresse.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de Terre de s'assurer que les balises de détresse de ses aéronefs sont bien enregistrées sur leur lieu de déploiement.**

**R18 – [T-2019-15-A] Destinataire : CEMAT**

### 4.2.3. Sensibilisation des intervenants aux risques liés aux épaves

Le personnel qui est intervenu sur les sites des épaves n'était équipé d'aucune protection individuelle contre les risques propres aux sites d'accident, notamment avec des pièces en matériaux composite et brûlées : poussière de carbone, pièces métalliques parfois coupantes, fluides et fumées toxiques etc. De nombreux intervenants sur le site des épaves se sont plaints de fortes démangeaisons au niveau des bras les jours suivants, causées par la poussière de carbone suite à la manutention de pièces d'épave.

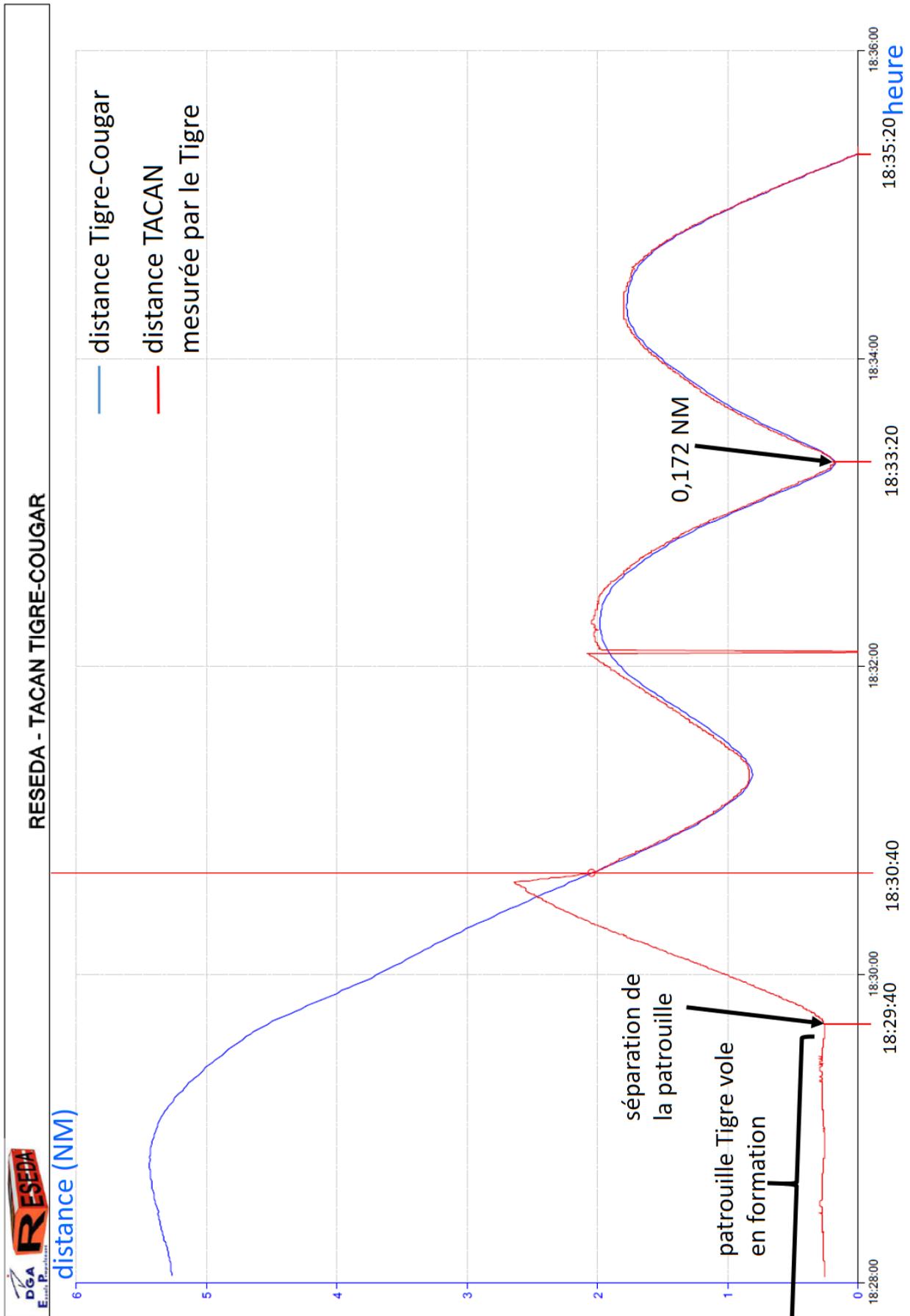
En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'ensemble des autorités d'emploi, de sensibiliser leurs personnels projetés vers un lieu d'accident aérien sur les dangers liés aux épaves et de leur conseiller de contacter une autorité compétente pour s'équiper des protections adéquates avant toute intervention sur le site d'une épave d'aéronef.**

**R19 – [T-2019-15-A] Destinataires : CEMAT, CEMAAE, CEMM, DGGN, DGSCGC, DGA, DGDDI**

ANNEXE

ÉCARTEMENT ET DISTANCE TACAN ENTRE LE LEADER TIGRE ET LE COUGAR



PAS DE TEXTE