Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

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

Rapport d'enquête de sécurité

A-2021-02-A

Date de l'évènement	17 février 2021
Lieu	Le Castellet (Alpes-de-Haute-Provence)
Type d'appareil	Rafale B
Organisme	Armée de l'Air et de l'Espace

BEA-É

AVERTISSEMENT

UTILISATION DU RAPPORT

Conformément à l'article L.1621-3 du code des transports, l'unique objectif de l'enquête de sécurité est la prévention des accidents et incidents sans détermination des fautes ou des responsabilités.
L'établissement des causes n'implique pas la détermination d'une responsabilité administrative civile ou pénale.
Dès lors, toute utilisation totale ou partielle du présent rapport à d'autres fins que son but de sécurité est contraire aux engagements internationaux de la France, à l'esprit des lois et des règlements et relève de la seule responsabilité de son utilisateur.

COMPOSITION DU RAPPORT

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

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

CRÉDITS

	Franck Pennant - AFP	Page de garde
Figure 1	RESEDA et Google	8
Figures 2 et 3	BEA-É, IGN et DIRCAM	9
Figure 4	RESEDA et Google	10
Figure 5	Lima Foxtrot 84 (*spotter*)	11
Figures 6 et 7	Météo-France et BEA-É	13 et 14
Figures 8 à 13	BEA-É	15 à 17
Figure 14	DIRCAM	20
Figures 15 à 26	DGA TA	21 à 28
Figure 27	RESEDA	29
Figure 28	DIRCAM	33

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 à l'aéronef 11
1.4. Autres dommages 11
1.5. Renseignements sur l'équipage 12
1.6. Renseignements sur l'aéronef 12
1.7. Conditions météorologiques 13
1.8. Aides à la navigation 14
1.9. Télécommunications 14
1.10. Renseignements sur l'aéroport 14
1.11. Enregistreurs de bord 15
1.12. Constatations sur l'aéronef et sur la zone de l'accident 15
1.13. Renseignements médicaux 18
1.14. Incendie 18
1.15. Questions relatives à la survie des occupants et à l'organisation des secours 18
1.16. Essais et recherches 18
1.17. Renseignements sur l'escadron de chasse 2/4 « La Fayette » 19
1.18. Renseignements supplémentaires 19
2. Analyse 21
2.1. Expertises techniques 21
2.2. Séquence de l'évènement 29
2.3. Recherche des causes de l'évènement 30
38
3. CONCLUSION 39
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement 39
3.2. Causes de l'évènement 39
4. RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ 41
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement 41
4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement 42

GLOSSAIRE

AIA	Atelier industriel de l'aéronautique
ALAT	Aviation légère de l'armée de Terre
BA	Base aérienne
BEA	Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile
CAM T/CAM V	Circulation aérienne militaire tactique/à vue
CDC	Centre de contrôle
CEMPN	Centre d'expertise médicale du personnel navigant
CFAS	Commandement des forces aériennes stratégiques
CPIPN	Consignes permanentes d'instruction du personnel navigant
DGA EP	Direction générale de l'armement Essais propulseurs
DGA TA	Direction générale de l'armement Techniques aéronautiques
DIRCAM	Direction de la circulation aérienne militaire
DSAÉ	Direction de la sécurité aéronautique d'État
EC	Escadron de chasse
EES	Émetteur état solide
ESPAR	Enregistreur statique de paramètres
EVN	Enregistreur de vidéo numérique
FMC	Formation de manœuvre de combat
ft	*Feet* – pieds. 1 pied vaut 0,3048 m
kt	*Knots* – nœuds. 1 nœud vaut 1,852 km par heure
MILAIP	*Military aeronautical information publication* – Manuel d'information aéronautique militaire
NM	*Nautical miles* - milles nautiques. 1 mille nautique vaut 1,852 km
REAC	Répertoire d'emploi de l'aviation de chasse
SETBA	Secteurs d'entraînement très basse altitude à vue
TBA/TTBA	Très basse altitude/Très très basse altitude
VOLTAC	Vol tactique
VTH	Visualisation tête haute

SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 17 février 2021 à 13h40
Lieu de l'évènement : Le Castellet (Alpes-de-Haute-Provence)
Organisme : armée de l'Air et de l'Espace
Commandement organique : commandement des forces aériennes stratégiques (CFAS)
Unité : escadron de chasse (EC) 2/4 « La Fayette »
Aéronef : Rafale B immatriculé F-UHHV
Nature du vol : entraînement
Nombre de personnes à bord : 2

Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

Le 17 février 2021, une patrouille de deux Rafale B décolle de la base aérienne (BA) 702 d'Avord vers 12h15, pour un vol programmé à la suite d'un exercice au sol. Après une « percée[1] » à Orange, la patrouille continue son vol en très basse altitude[2] (TBA). Vers 13h40, elle s'engage dans la vallée du Castellet par le village d'Oraison. L'équipage de l'avion leader descend alors une hauteur de vol de 250 ft à une vitesse de 450 kt. Lors d'un virage à droite, le pilote leader aperçoit tardivement des câbles traversant la vallée et les percute sans pouvoir effectuer de manœuvre d'évitement. Il remonte vers le niveau de vol 95[3] et le navigateur officier systèmes d'armes (NOSA) constate une panne de radar et de Spectra[4] et une fuite de carburant sur le bidon gauche. La patrouille contacte le centre de contrôle (CDC) Rambert situé à Lyon pour lui déclarer la situation d'urgence et demande un déroutement sur le terrain d'Orange. Le pilote leader vidange le carburant restant dans ses deux bidons et se pose après une longue finale de précaution. L'équipier remet les gaz et rentre à Saint-Dizier. Le leader est escorté par les pompiers et s'arrête après avoir dégagé la piste. L'équipage évacue immédiatement. L'aéronef est fortement endommagé, l'équipage est indemne.

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 expert technique (BEA-É) ;
- un pilote ayant une expertise sur Rafale B ;
- un NOSA ayant une expertise sur Rafale B ;
- un mécanicien « vecteur » ayant une expertise sur Rafale B ;
- un mécanicien « structure » ayant une expertise sur Rafale B ;
- un médecin breveté supérieur de médecine aéronautique ;
- un expert des espaces aériens de la direction de la sécurité aéronautique d'État (DSAÉ).

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) ;
- atelier industriel de l'aéronautique (AIA) de Bordeaux ;
- Météo-France.

1 Transition de la haute altitude vers la basse altitude qui peut comprendre une procédure d'approche aux instruments.
2 Hauteur de vol comprise entre 500 et 1 500 pieds.
3 Le niveau de vol correspond à un nombre de centaines de pieds au calage altimétrique 1 013 hectopascals.
4 Spectra : système de protection et d'évitement des conduites de tir du Rafale.

PAS DE TEXTE

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Type de vol : circulation aérienne militaire à vue (CAM V) et circulation aérienne militaire tactique (CAM T)
Type de mission : entraînement
Dernier point de départ : BA 702 d'Avord
Heure de départ : 12h15
Point d'atterrissage prévu : BA 113 de Saint-Dizier

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Contexte de la mission

La mission intervient dans le contexte d'un exercice au sol qui a eu lieu les jours précédents sur la BA 702 d'Avord. Cet exercice a fortement mobilisé l'EC 2/4 le lundi 15 et le mardi 16 février. Ce vol en est l'aboutissement. La mission choisie comprend un échantillon représentatif des compétences déployées par l'escadron dans le cadre de son rôle opérationnel : pénétration et navigation très basse altitude, ravitaillement en vol, navigation moyenne et haute altitudes, percée aux instruments et enfin mise en œuvre de systèmes d'armes complexes.

Une patrouille de deux Rafale est alors constituée, avec dans l'avion leader le commandant d'escadron et un jeune NOSA et dans l'avion équipier un jeune pilote et un navigateur expérimenté. Le but de la mission, en plus de conclure l'exercice au sol des jours précédents, est d'entraîner les deux navigants les moins expérimentés en TBA et suivi de terrain. L'atterrissage est prévu sur la BA 113 de Saint-Dizier.

1.1.2.2. Préparation du vol

Le navigateur équipier prépare la mission la veille à Avord et en réalise le tracé sur le système de préparation de mission. Il prévoit une navigation à 500 ft sol pour les tronçons du vol en basse altitude. L'ordre de vol mentionne également cette navigation à 500 ft pour les tronçons en TBA mais autorise une hauteur minimale de 250 ft en zone dédiée.

Le navigateur équipier termine la préparation le jour du vol, pendant que le pilote leader débriefe, en tant que commandant d'escadron, l'exercice sol qui vient de se terminer. Le navigateur équipier prépare la coordination 3D du ravitaillement prévu. Le briefing de la mission débute à 10h40 et dure 40 minutes en présence des deux équipages. Les quatre membres du personnel navigant déjeunent entre 11h20 et 11h40 puis se rendent aux avions. Le leader décolle à 12h15 et l'équipier cinq minutes plus tard, comme prévu.

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

La première phase du vol est une navigation basse altitude en avion isolé. Le leader pilote en mode manuel, sans suivi de terrain automatique, à 500 ft et 450 kt. L'avion passe à l'est de Clermont-Ferrand, puis de Rodez, Narbonne et passe sur la mer au large de Perpignan. Il y descend à 250 ft, puis remonte à 500 ft et rentre sur les terres en contournant la ville de Perpignan. Le leader remonte en haute altitude pour rassembler l'équipier au niveau de vol 130. La patrouille effectue le ravitaillement en vol prévu sur l'A330 MRTT[5] au niveau de vol 230. Elle transite ensuite vers Orange en haute altitude et y effectue la percée à 13h35. Soumis à des contraintes de ressources humaines limitées, le contrôle de la base d'Orange avait prévu de fermer à 13h30 pour une durée d'une heure afin de permettre le repas des contrôleurs. La fermeture a finalement lieu après le départ des deux Rafale, légèrement en retard.

[5] MRTT : *multi role transport tanker* - avion de transport ravitailleur multi rôle.

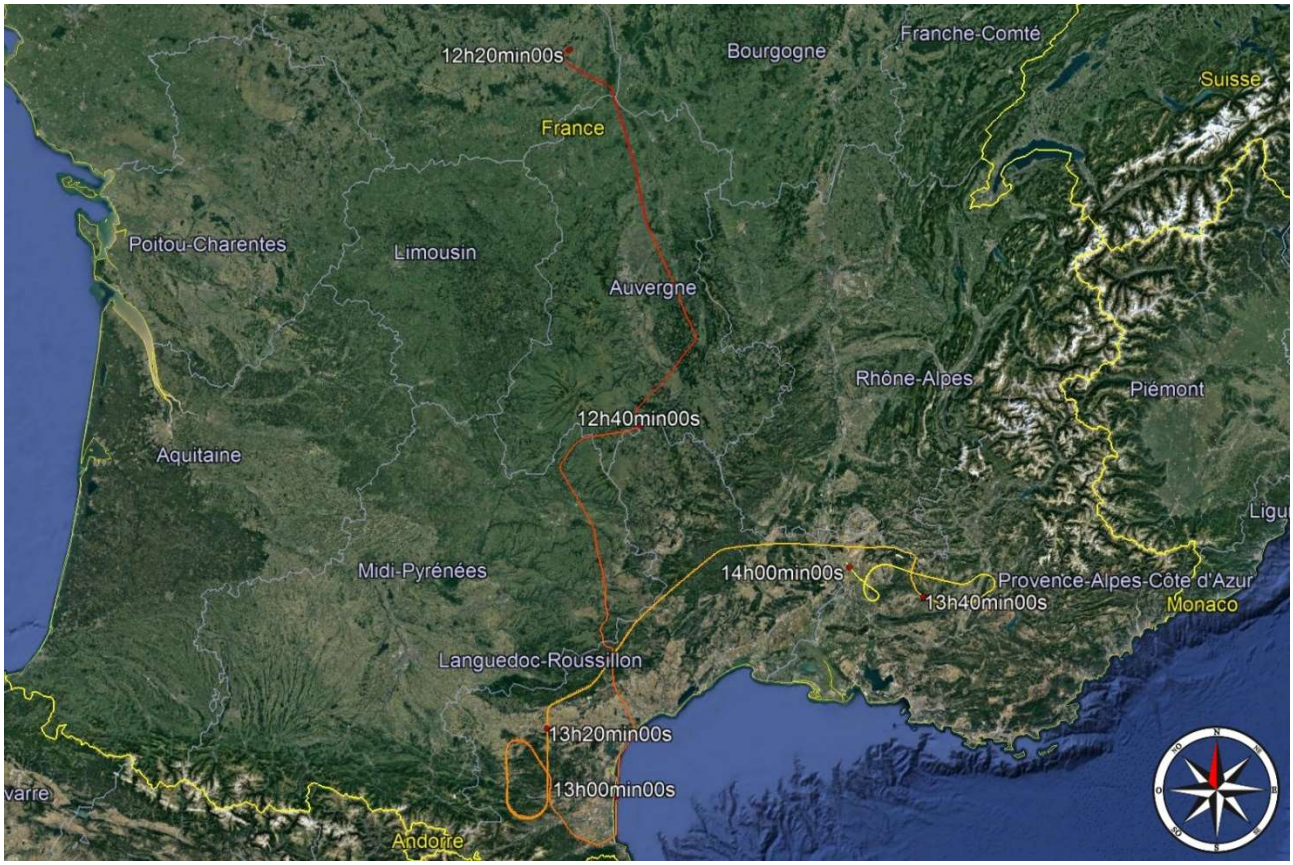

Figure 1 : trajectoire suivie par l'avion leader depuis son décollage à Avord

La patrouille poursuit son vol en TBA, en formation de type FMC avec un étagement positif[6]. Le navigateur leader annonce à son pilote qu'à partir du point 41, premier point de navigation après Orange, ils pourront descendre en très très basse altitude[7] (TTBA). Le tronçon entre Orange et le point 41 se fait à 500 ft, puis le pilote règle la hauteur de garde de sa radiosonde à 150 ft et vise une hauteur de vol de 250 ft comme annoncé. Au passage d'une crête, la patrouille est confrontée à une couche nuageuse basse masquant la vue du sol. Les avions remontent alors à 1 500 ft pendant une minute pour passer au-dessus des nuages puis redescendent à la hauteur précédente.

6 Équipier légèrement plus haut que leader.
7 Hauteur de vol inférieure à 500 ft.

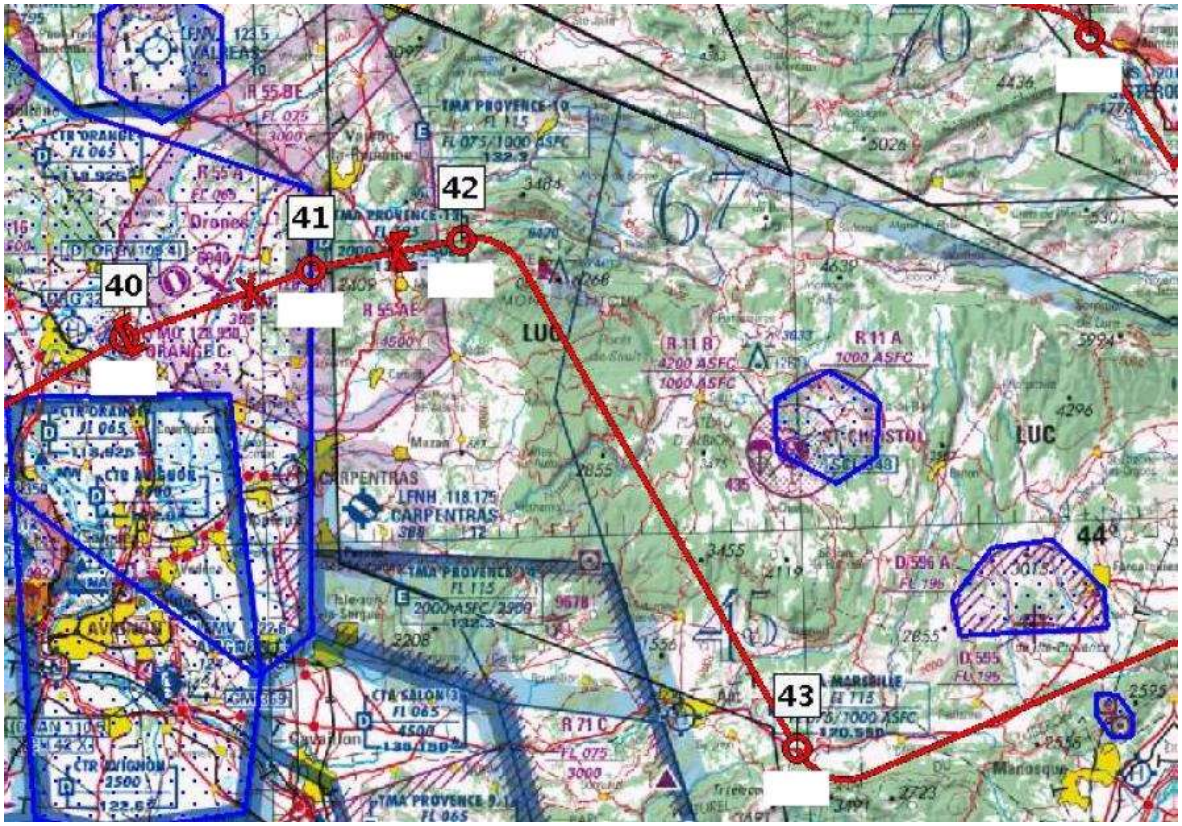

Figure 2 : tracé de la navigation et position du point 41

La patrouille traverse la vallée de la Durance en direction du village d'Oraison. Le navigateur leader annonce à son pilote la présence d'une ligne haute tension indiquée sur la carte 500 k[8] à l'est de la vallée. Le pilote reprend de la hauteur pour l'éviter et le navigateur lui annonce que le danger est écarté.

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

L'avion leader s'engage alors dans la vallée du Castellet au niveau du village d'Oraison, toujours en pilotage manuel. L'équipier est derrière, légèrement plus haut sur sa droite au-dessus du relief. Le navigateur leader remarque sur la carte un triangle violet signalant un danger au sud de la vallée suivie. Il ne l'indique pas à son pilote, estimant que le danger se trouve hors de leur trajectoire. Lors d'un virage à droite épousant la vallée, le pilote leader aperçoit les câbles traversant la vallée mais ne peut les éviter à temps. Il les percute à une vitesse indiquée de 450 kt et une hauteur radiosonde indiquée en VTH de 290 ft.

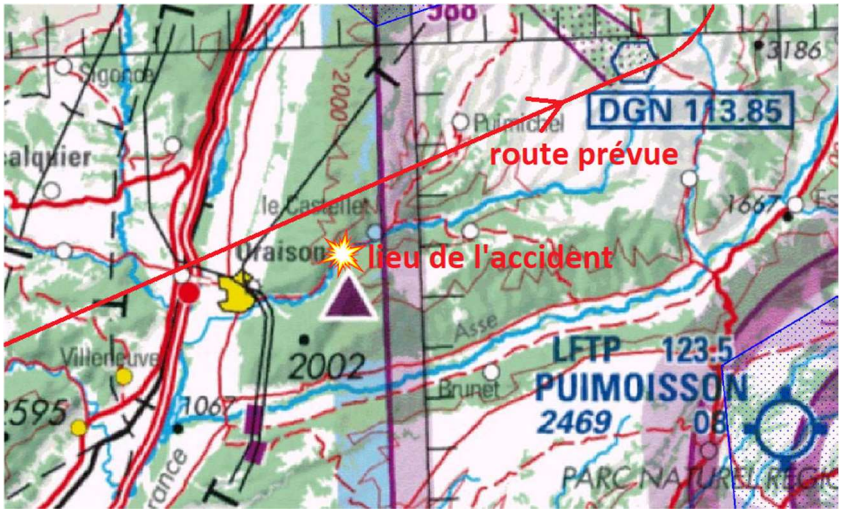

Figure 3 : extrait de la carte 500 k montrant la zone de l'accident et le tracé de navigation

[8] Carte aéronautique militaire à l'échelle 1/500 000e utilisée pour le vol à vue communément appelée « 500 k ». Elle est éditée une fois par an par la DIRCAM au mois de mars ou d'avril.

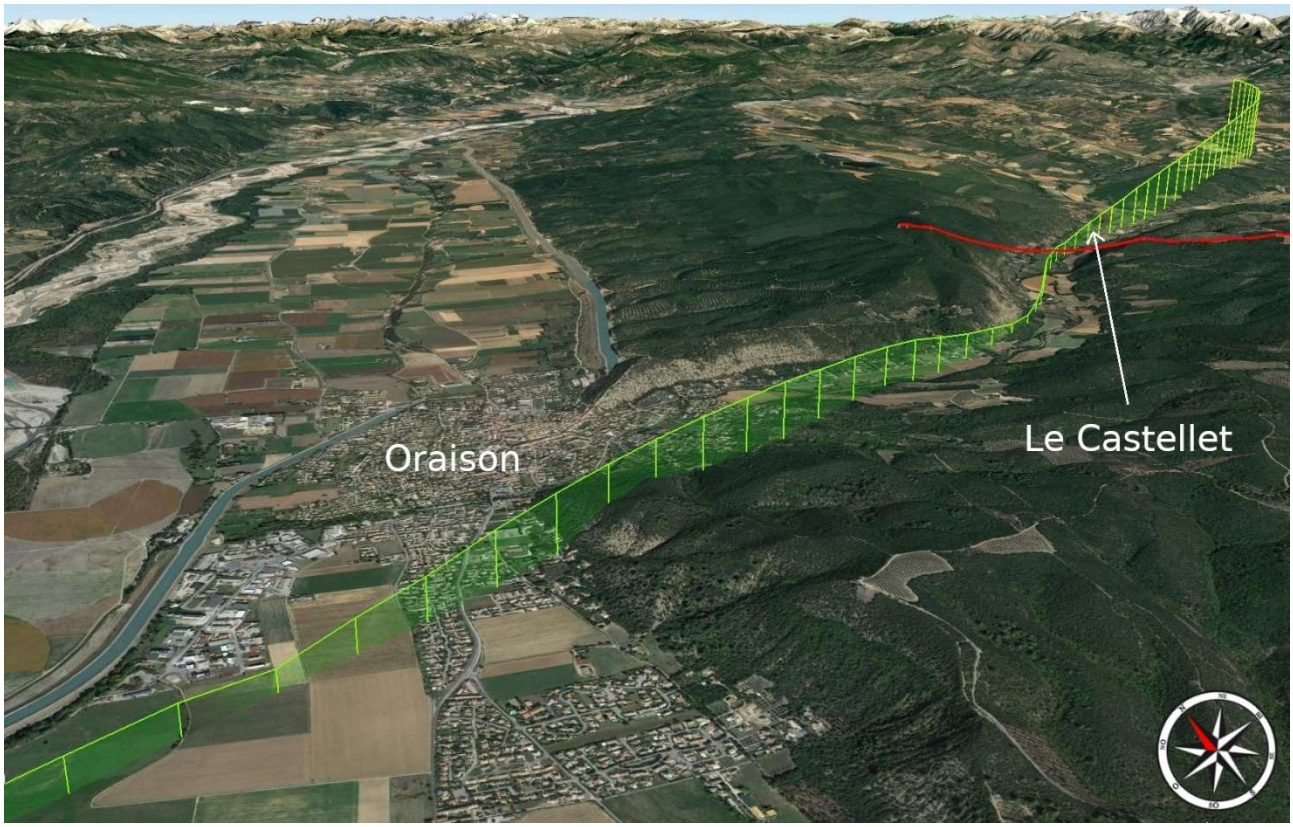

Figure 4 : reconstitution de la trajectoire de l'avion dans la vallée du Castellet jusqu'aux câbles

Le pilote remet immédiatement les ailes à plat, engage une remontée et annonce « PAN PAN » à son équipier. Il demande à son navigateur d'afficher 7700[9] au transpondeur, de lui donner un cap vers Orange et de vérifier que les harnais sont serrés et bloqués pour une éventuelle éjection.

Le pilote réduit la vitesse et fait une évaluation des dégâts avec son navigateur. L'équipage constate que les paramètres des deux moteurs sont normaux et symétriques, mais qu'une panne « fuel » est apparue sur le système et que le bidon gauche apparaît « rouge ». Le pilote leader demande à l'équipier de vérifier s'il y a un aéroport plus proche que Orange, de venir inspecter son avion et d'annoncer la situation d'urgence au CDC Rambert. L'inspection révèle les dégâts apparents suivants : la bajoue gauche est déchirée, le bidon gauche est éventré et perd du carburant. Le navigateur constate également un impact sur le bec de bord d'attaque et un autre sur le plan canard. Le pilote ressent à ce moment des à-coups dans son masque à oxygène.

Le pilote décide de vidanger les bidons avec l'accord du contrôle d'Orange. Il réalise la vidange au niveau de vol 95, puis sort le train et les volets et se place en longue finale à 10 NM. L'avion se pose sans encombre, dégage la piste suivi des pompiers et s'immobilise sur le taxiway. L'équipage évacue par ses propres moyens. L'équipier remet les gaz, observe le dégagement du leader et met le cap sur Saint-Dizier.

9 Code d'urgence.

Figure 5 : photos de l'atterrissage et du dégagement de l'avion prises par un *spotter*[10]

L'avion est fortement endommagé et les deux membres d'équipage sont indemnes.

1.1.3. Localisation

– Lieu :
  - pays : France
  - département : Alpes-de-Haute-Provence
  - commune : Le Castellet
  - coordonnées géographiques : N 43°55'52"/E 005°57'54"
  - hauteur de l'aéronef au moment de l'évènement : environ 300 ft
– Moment : jour
– Aérodrome adéquat le plus proche au moment de l'évènement : Orange-Caritat LFMO

1.2. Dommages corporels

Les deux membres d'équipage sont indemnes.

1.3. Dommages à l'aéronef

L'aéronef est fortement endommagé.

1.4. Autres dommages

Les trois brins de la ligne électrique moyenne tension qui traversent la vallée du Castellet sont sectionnés. Au sol, une petite surface agricole non cultivée est brûlée sous la ligne.

[10] Photographe amateur passionné d'aéronautique.

1.5. Renseignements sur l'équipage

1.5.1. Pilote commandant de bord

- Âge : 37
- Unité d'affectation : EC 2/4 « La Fayette »
- Fonction dans l'unité : commandant d'escadron
- Formations :
  - qualification : chef de patrouille (2014)
  - école de spécialisation : école d'aviation de chasse (EAC) de Tours
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Rafale	sur tout type	dont Rafale	sur tout type	dont Rafale
Total (h)	2 500	2 000	80	80	20	20

- Date du précédent vol sur l'aéronef : 11 février 2021

1.5.2. NOSA

- Âge : 26
- Unité d'affectation : EC 2/4 « La Fayette »
- Fonction dans l'unité : NOSA
- Formations :
  - qualification : NOSA opérationnel (2020)
  - école de spécialisation : EAC de Tours
- Heures de vol comme NOSA :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Rafale	sur tout type	dont Rafale	sur tout type	dont Rafale
Total (h)	650	300	200	200	45	45

- Date du précédent vol sur l'aéronef : 10 février 2021

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de l'Air et de l'Espace
- Commandement d'appartenance : CFAS
- Aérodrome de stationnement : BA 113 de Saint-Dizier
- Unité d'affectation : escadron de soutien technique aéronautique (ESTA) 15.004 « Haute-Marne »
- Type d'aéronef :

	Type-série	Numéro	Heures de vol totales
Cellule	Rafale B standard F3	320	2 477
Moteur gauche	Snecma M88-2	WM 000400	996
Moteur droit	Snecma M88-2	WM 000213	2 355

L'aéronef est équipé de deux réservoirs pendulaires de 2 000 litres chacun.

1.6.1. Maintenance

L'examen de la documentation technique témoigne d'un entretien conforme au programme de maintenance en vigueur. L'aéronef est navigable.

1.6.2. Performances

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

1.6.3. Masse et centrage

La masse de l'avion au décollage est de 18 736 kg. Le centrage est dans les normes.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F-34
- Quantité de carburant au décollage : 7 780 kg
- Quantité de carburant après le ravitaillement en vol : 7 600 kg
- Quantité de carburant au moment de l'évènement : 6 240 kg. Le bidon gauche étant endommagé par l'impact avec les câbles, il se vide jusqu'à l'atterrissage à Orange.

1.6.5. Huile moteur

L'huile de lubrification des moteurs est de type O-156. Chaque moteur en contient 10,7 litres.

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

La carte TEMSI[11] prévoit une absence de nuage sur une large zone couvrant le lieu de l'accident. À 9 heures, la station météorologique d'Orange a émis un bulletin de prévisions TAF[12] valable 24 heures et prévoyant un vent de 5 kt du 330°, une visibilité supérieure à 10 kilomètres, des nuages épars à 1 000 ft, une température maximale de 17 °C atteinte à 16h, une température minimale de 3 °C atteinte à minuit. Il est prévu que ces conditions deviennent CAVOK[13] entre 10h et 12h.

1.7.2. Observations

Les conditions météorologiques sont favorables. Les images satellite confirment que la zone était dépourvue de nuage au moment de l'accident.

Au moment de l'évènement, les conditions météorologiques sur la BA 115 d'Orange sont les suivantes : un vent de 10 kt du 310°, CAVOK, une pression au niveau de la mer de 1 022 hPa, une température de 15 °C et un point de rosée de 7 °C.

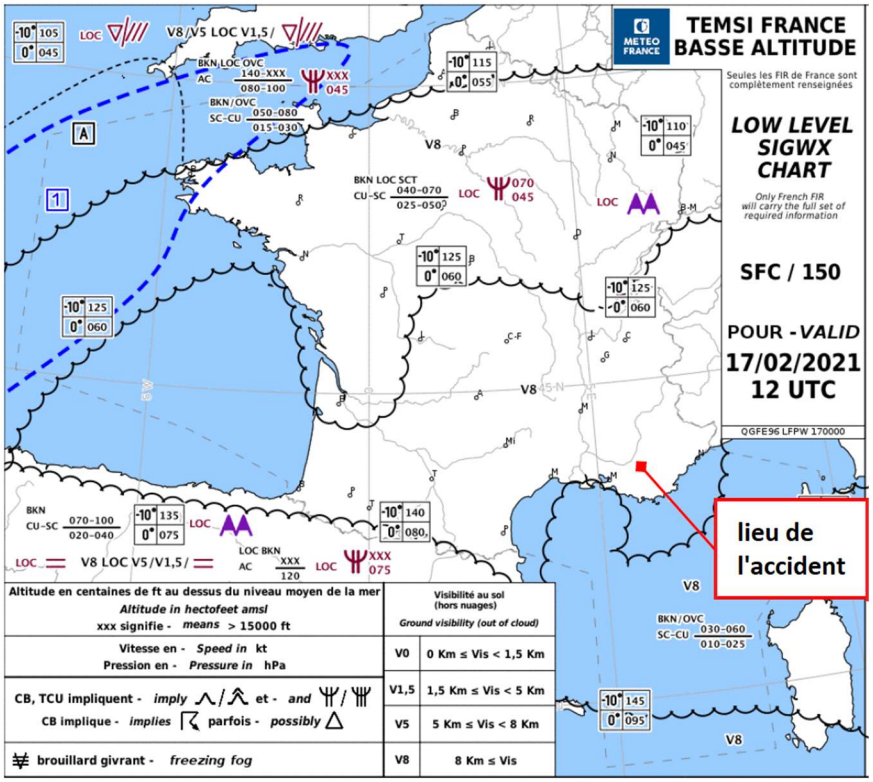

Figure 6 : carte TEMSI émise à 13h locale

[11] TEMSI : temps significatif.

[12] TAF : *terminal aerodrome forecast* - bulletin de prévisions d'aérodrome.

[13] CAVOK : *ceiling and visibility OK* - plafond et visibilité OK : visibilité supérieure ou égale à 10 kilomètres, pas de nuage en-dessous de 5 000 ft ou de l'altitude minimum de secteur (le plus élevé des deux), pas de phénomène significatif, pas de cumulonimbus.

Figure 7 : image satellite prise à 13h45 locale dans le spectre visible

1.8. Aides à la navigation

Le Rafale standard F3 est équipé, entre autres, de deux centrales inertielles à gyrolaser hybridées GNSS[14], d'un radar à balayage électronique passif RBE2 et d'un TACAN[15]. Il dispose de la possibilité d'afficher la carte 500 k sur l'interface homme machine.

1.9. Télécommunications

Le Rafale est équipé de la suite CNI[16] qui intègre les communications vocales, les liaisons de données tactiques, la radionavigation et les fonctions d'IFF[17].

La patrouille dispose d'une fréquence de communication interne aux deux avions. Le navigateur leader effectue l'auto-information sur la fréquence adaptée. Après l'évènement, l'équipier contacte le CDC Rambert sur la fréquence UHF[18] dédiée.

1.10. Renseignements sur l'aéroport

La BA 115 d'Orange-Caritat « Capitaine de Seynes » dispose d'une piste de 2 400 mètres orientée 14/32. Elle accueille l'escadron de chasse 2/5 Île-de-France qui utilise des Mirage 2000 C et B ainsi que l'escadron d'hélicoptères 5/67 Alpilles et le centre d'instruction des équipages d'hélicoptères (CIEH) qui emploient des Fennec.

14 GNSS : géolocalisation et navigation par un système de satellites.
15 TACAN : *TACtical Air Navigation* - système de navigation aérienne tactique.
16 CNI : communication, navigation, identification.
17 IFF : *identification, friend or foe* - identification, ami ou ennemi.
18 UHF : *ultra high frequency* - ultra haute fréquence.

1.11. Enregistreurs de bord

Le Rafale est équipé de multiples sources de données enregistrées :
- un enregistreur de vidéo numérique (EVN), qui enregistre les images filmées devant l'avion et l'affichage de la visualisation tête haute (VTH) ;
- un enregistreur statique de paramètres (ESPAR) ;
- un support appelé cassette A contenant les données de préparation de la mission ;
- une cassette B contenant des données enregistrées pendant les vols pour la maintenance.

L'ensemble de ces données est exploitable.

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

1.12.1. Examen de l'aéronef

L'aéronef présente de multiples traces d'impacts sur le côté gauche :
- sur le bidon gauche ;
- sur le plan canard ;
- sur le bec de bord d'attaque ;
- sur la bajoue ;
- sur l'entrée d'air du moteur.

Une fuite de Coolanol[19] est visible au niveau de la bajoue. Les aubes de compresseur du moteur gauche présentent des traces d'impact.

Figure 8 : bidon gauche éventré

[19] Liquide de refroidissement du radar et du Spectra.

Figure 9 : bajoue déchirée

Figure 10 : impacts sur l'entrée d'air et sur les aubes de compresseur du moteur gauche

Figure 11 : impacts sur le bec de bord d'attaque et sur le plan canard

1.12.2. Examen de la zone de l'accident

Les trois brins de la ligne moyenne tension sont sectionnés et reposent dans la végétation. Une petite surface agricole est brûlée.

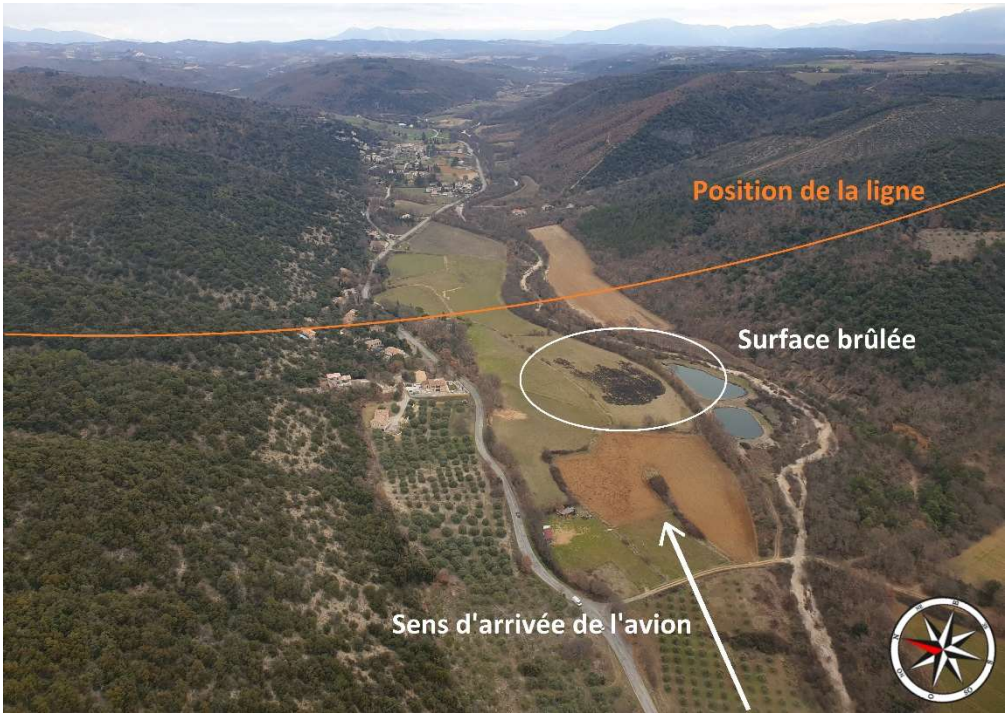

Figure 12 : zone de l'accident

Figure 13 : poteaux supportant les câbles de part et d'autre de la vallée

1.13. Renseignements médicaux

1.13.1. Pilote commandant de bord

- Dernier examen médical :
  - type : visite systématique à l'unité (VSU) du 8 décembre 2020 (en référence à la visite au centre d'expertise médicale du personnel navigant[20] (CEMPN) du 26 juin 2020)
  - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : aucune

1.13.2. NOSA

- Dernier examen médical :
  - type : CEMPN du 7 février 2021
  - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : aucune

1.14. Incendie

L'accident n'a pas causé d'incendie sur l'avion. En revanche, les câbles tombés dans la vallée sur le territoire de la commune du Castellet sont entrés en contact entre eux et ont provoqué un incendie dans un champ par court-circuit. Les pompiers l'ont rapidement éteint et la surface agricole brûlée, non cultivée, est réduite.

1.15. Questions relatives à la survie des occupants et à l'organisation des secours

1.15.1. Abandon de bord

Les deux membres d'équipage se préparent à une éventuelle éjection en resserrant leurs harnais. Celle-ci n'est finalement pas nécessaire.

1.15.2. Organisation des secours

La BA 115 d'Orange, dont le contrôle est fermé depuis la percée de la patrouille de Rafale, est mise en alerte par le CDC Rambert suite à l'évènement. Le contrôle rouvre et les pompiers attendent l'avion. Une fois celui-ci posé, ils pénètrent sur la piste et le suivent jusqu'à son dégagement et son immobilisation sur le taxiway.

1.16. Essais et recherches

Les fluides prélevés sur l'avion ont été analysés par DGA EP/DESA.
Les enregistreurs de données ont été exploités par DGA EP/RESEDA.
Le moteur gauche a été expertisé par l'AIA de Bordeaux.
Les éléments endommagés de la cellule ont été expertisés par DGA TA.
ENEDIS[21] a été consulté afin de connaître les caractéristiques des trois câbles percutés.
Les conditions météorologiques ont été analysées par Météo-France.
L'analyse des facteurs humains et organisationnels a été menée par le BEA-É.

[20] Instruction n° 4000/DRH-AA/SDEPRH-HP/BPECA du 20 avril 2017 relative aux normes médicales d'aptitude applicable au personnel militaire de l'armée de l'Air et à la définition des standards d'aptitude médicale minimaux à requérir pour les emplois de personnel navigant.

[21] Enedis, anciennement Électricité Réseau Distribution France (ERDF) jusqu'en 2008, est une filiale d'Électricité de France (EDF) chargée de la gestion et de l'aménagement de 95 % du réseau de distribution d'électricité en France. Elle ne doit pas être confondue avec Réseau de Transport d'Électricité (RTE) qui est le gestionnaire du réseau de transport d'électricité en haute tension supérieure à 50 000 volts.

1.17. Renseignements sur l'escadron de chasse 2/4 « La Fayette »

L'EC 2/4 « La Fayette » est un escadron de l'armée de l'Air et de l'Espace stationné sur la BA 113 de Saint-Dizier et appartenant au CFAS. Il est composé de quatre escadrilles dotées exclusivement de Rafale depuis 2015. Chargé de la dissuasion nucléaire, il a quitté la BA 125 d'Istres pour s'établir à Saint-Dizier en 2018.

1.18. Renseignements supplémentaires

1.18.1. Règlementation du vol très basse altitude et très très basse altitude

D'après le règlement de la circulation aérienne militaire (RCAM), les avions de chasse peuvent évoluer en CAM V à 500 ft au-dessus du sol minimum. En-dessous, ils évoluent en CAM T selon les règles définies par l'autorité d'emploi. Pour l'armée de l'Air et de l'Espace, ces règles sont définies dans le répertoire d'emploi de l'aviation de chasse (REAC)[22] et dans les consignes permanentes d'instruction du personnel navigant (CPIPN)[23]. Les CPIPN s'appliquent aux vols d'instruction et aux vols d'entraînement, le vol de l'évènement est donc concerné.

Il existe des espaces aériens où la CAM T est ségréguée et protégée des autres usagers, comme par exemple les portions rabaissées du réseau très basse altitude défense (RTBA). En dehors de ces espaces réservés, la CAM T peut s'effectuer uniquement en espace aérien de classe G[24] (RCAM 5060-02) dans des portions d'espace définies par les autorités d'emploi. Pour l'armée de l'Air et de l'Espace, elles sont définies par les CPIPN au paragraphe 310 et par le REAC au paragraphe 317. De plus, ces portions d'espace doivent se situer en dehors des emprises des aérodromes et de leurs circuits associés et n'interférer avec aucun espace aérien contrôlé ou zone réglementée, dangereuse ou interdite. Elles ne disposent d'aucun gestionnaire et n'offrent aucune protection aux aéronefs y évoluant vis-à-vis des autres usagers puisqu'elles sont des espaces aériens non ségrégués.

Afin d'attirer l'attention des usagers sur le fait qu'ils peuvent rencontrer des aéronefs en-dessous de 500 ft dans certaines zones à forte activité, la carte 500 k indique plusieurs types de secteurs très basse altitude :

- les secteurs d'entraînement au vol tactique (VOLTAC) utilisés par les hélicoptères de l'aviation légère de l'armée de Terre (ALAT) ;
- les secteurs d'entraînement à la très basse altitude à vue (SETBA) utilisés par les aéronefs de combat de la Marine nationale et de l'armée de l'Air et de l'Espace.

Ces deux types de secteurs sont non opposables et sont perméables aux autres usagers civils et militaires autorisés à voler en-dessous de 500 ft. Les règles du vol à vue s'y appliquent, et notamment le principe « voir et éviter ». L'auto-information sur la fréquence UHF réglementaire est obligatoire, et il est recommandé de se renseigner sur les vols qui y sont prévus auprès de l'unité désignée comme utilisatrice et de se coordonner. D'une façon générale, la plus grande prudence doit y être observée. Ces consignes sont rappelées dans la circulaire militaire d'information aéronautique n° 05/20 du 6 juillet 2020.
Les SETBA et secteurs VOLTAC ont une représentation graphique similaire sur la carte. En effet, le trait délimitant les deux types de secteur est de même couleur et de même épaisseur. Le seul moyen de les différencier sans consulter le MILAIP[25] France est l'utilisation d'une abréviation en trois lettres pour les secteurs VOLTAC ou d'un nom complet pour les SETBA.

---

22 Texte co-signé par le commandant des forces aériennes stratégiques et par le commandant des forces aériennes.

23 Il existe une version des CPIPN pour le CFAS et une autre pour le commandement des forces aériennes (CFA). Dans ce rapport d'enquête, les références aux CPIPN concernent la version du CFAS.

24 Espace aérien non contrôlé et ouvert à tous.

25 *Military aeronautical information publication* - manuel d'information aéronautique militaire (MIAM). Il définit de façon exhaustive les SETBA et secteur VOLTAC au paragraphe ENR 5.2.7.

L'évènement s'est produit en espace aérien de classe G dans le secteur VOLTAC LUC. Il est utilisé par les hélicoptères de la base de l'ALAT du Luc Le Cannet-des-Maures.

Catégorie classe ou zone	Largeur du signe (mm)	style du trait	Couleur du trait	Symbole
Secteur VOLTAC	0,4	trait plein	NOIR 100%	GIH
Secteurs d'entrainement très basse altitude à vue	0,4	trait plein	NOIR 100%	MORVAN

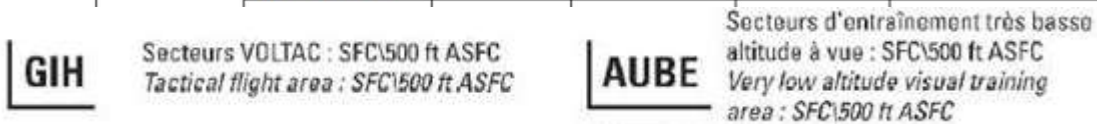

Figure 14 : représentation des secteurs VOLTAC et SETBA sur la carte 500 k

1.18.2. Évènement précédent avec la même ligne

Le 7 février 1995, un Fouga Magister de l'armée de l'Air et de l'Espace provenant de la BA 701 de Salon-de-Provence avait déjà percuté cette même ligne et avait pu revenir se poser. L'aéronef avait été fortement endommagé et l'équipage était indemne. Deux des trois câbles de la ligne électrique avaient été sectionnés. À cette époque, le BEA-É n'existait pas encore et l'enquête avait été menée par le conseil permanent de la sécurité aérienne (CPSA) de l'armée de l'Air et de l'Espace.

Suite à ce premier évènement, un triangle violet indiquant un « danger particulier signalé par les usagers de la Défense » avait été placé sur la carte 500 k par la direction de la circulation aérienne militaire (DIRCAM).

2. ANALYSE

2.1. Expertises techniques

2.1.1. Analyse des fluides prélevés sur l'avion

Les prélèvements de carburant (F-35), d'huile moteur (O-156) et de fluide hydraulique (H-537) effectués sur l'avion ont été analysés.

L'analyse des fluides prélevés ne révèle aucune anomalie.

2.1.2. Caractéristiques des câbles percutés

Le diamètre des câbles est de 15,75 mm et chaque câble est composé de 30 torons en alliage d'aluminium disposés à l'extérieur et 7 torons en acier galvanisé constituant l'âme centrale. Le diamètre des torons est de 2,25 mm. La charge de rupture de chaque câble est de 7 910 daN, soit environ 8 tonnes.

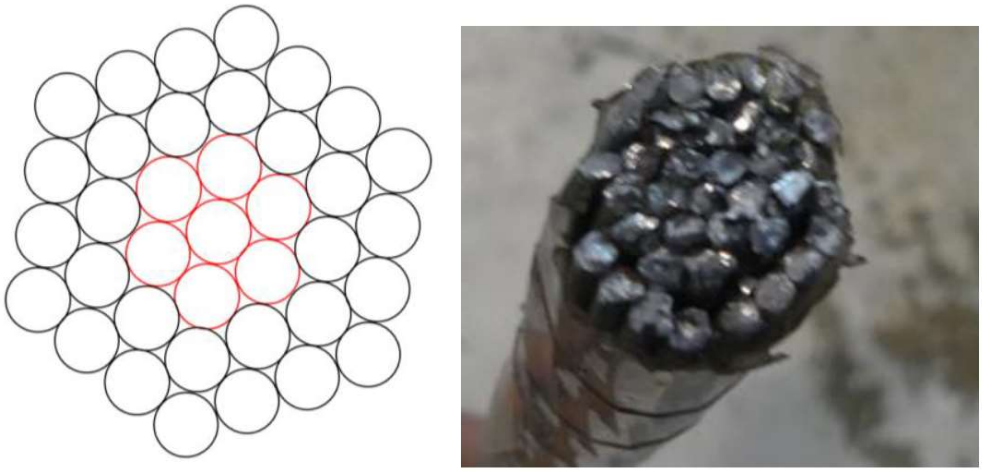

Figure 15 : représentation schématique et vue réelle de la section d'un des câbles heurtés

Chaque câble a un diamètre de 15,75 mm et est composé d'acier et d'aluminium.

2.1.3. Expertise des dommages constatés sur la cellule

L'expertise des câbles rompus ainsi que des pièces endommagées de l'avion a été confiée à DGA TA afin de :
- déterminer la cinématique de l'évènement et corréler chaque endommagement au câble correspondant ;
- déterminer l'attitude de l'avion au moment de la collision ;
- expliquer les défaillances des systèmes constatées.

Les pièces expertisées sont les suivantes :
- plan canard gauche ;
- bec de bord d'attaque interne gauche ;
- lance-missile gauche ;
- réservoir pendulaire gauche ;
- morceaux de la bajoue gauche ;
- générateur d'oxygène ;
- émetteur état solide (EES - brouilleur radar) ;
- 6 sections des 3 câbles électriques rompus.

2.1.3.1. Cinématique de la collision

Dans cette analyse, les trois câbles sectionnés sont numérotés câbles 1, 2 et 3 dans l'ordre dans lequel ils ont été rencontrés sur la trajectoire du Rafale. Ils ont été identifiés sur le terrain par les pylônes auxquels ils étaient encore attachés.

2.1.3.1.1. Câble 1

Le bec de bord d'attaque est déchiré à l'aplomb du lance-missile sur quelques centimètres avec perte de matière sur une zone correspondant au diamètre du câble. Le lance-missile est rayé sur son côté droit par un câble à priori déjà rompu. Ainsi, un câble s'est probablement rompu sur le bec de bord d'attaque.
Le câble 1 présente une rupture nette des torons de l'âme centrale. Il n'est endommagé que sur 60 centimètres environ et n'est pas déformé. C'est probablement ce câble qui s'est rompu sur le bec de bord d'attaque.
À une distance d'entre 10 et 15 mètres de la rupture, côté vallée, le câble est noirci par l'incendie et quelques torons extérieurs sont rompus. Des boules de fusion sur le câble montrent qu'il y a eu un échauffement. Ces endommagements ont probablement été causés au sol après la collision.

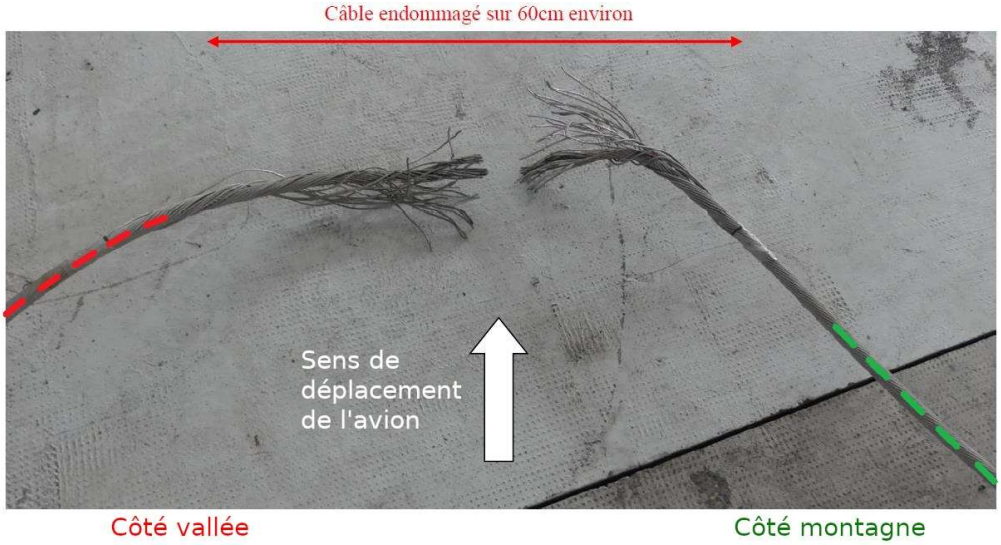

Figure 16 : rupture du câble 1

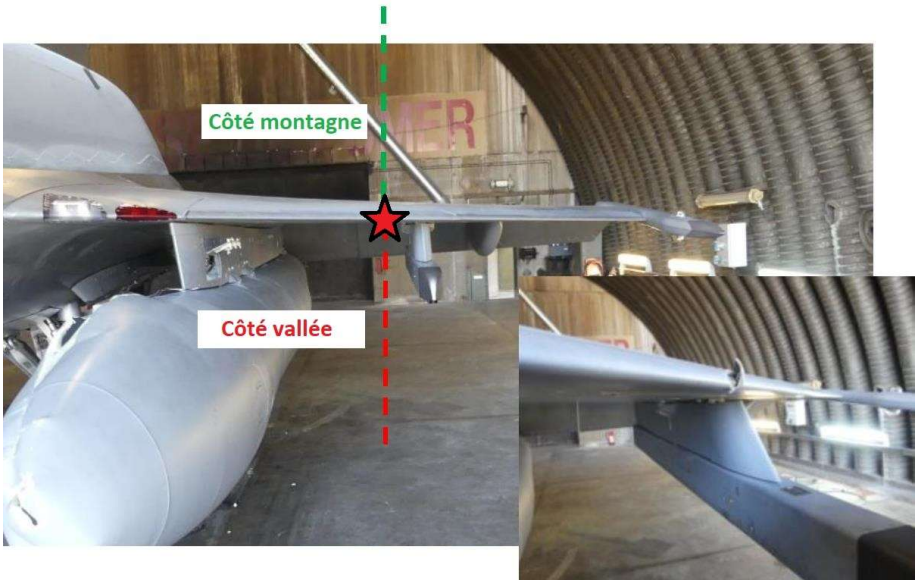

Figure 17 : mode de rupture probable du câble 1

Le câble 1 a été heurté par le bec de bord d'attaque de la voilure gauche et s'est rompu instantanément. Une fois au sol, il a causé l'incendie par contact avec un autre câble.

2.1.3.1.2. Câble 2

Le bord d'attaque du plan canard présente le même type d'endommagement que le bec de la voilure principale. Il n'y a pas de trace de frottement sur la surface du plan canard, dont le bord d'attaque est une pièce rigide et tranchante. De plus, dans toutes les positions du plan canard, l'impact observé sur celui-ci n'est pas aligné avec la déchirure de la bajoue. C'est donc un autre câble qui s'est probablement rompu au contact du plan canard.

Le bidon est fortement déformé à l'avant et sa partie supérieure est perforée. Des morceaux de torons en aluminium ont été retrouvés à l'intérieur. La perforation semble avoir été causée par un câble provenant du haut. De plus, la voilure située en aval du bidon est intacte. Ainsi, les endommagements sur le haut du bidon semblent avoir été causés par un câble déjà rompu, probablement sur le plan canard.

À proximité du point de rupture, le câble 2 est endommagé sur environ 2,5 m. Sur la partie côté montagne, les torons de l'âme centrale sont rompus de manière nette. Sur la partie côté vallée, il manque environ 1,2 m de torons extérieurs qui ont été retrouvés en partie dans le bidon.

À une distance de 10 et 18 mètres du point de rupture, côté vallée, le câble est noirci par l'incendie et quelques torons extérieurs sont rompus. Des boules de fusion sur le câble montrent qu'il y a eu échauffement. Ces endommagements ont probablement été causés au sol après la collision.

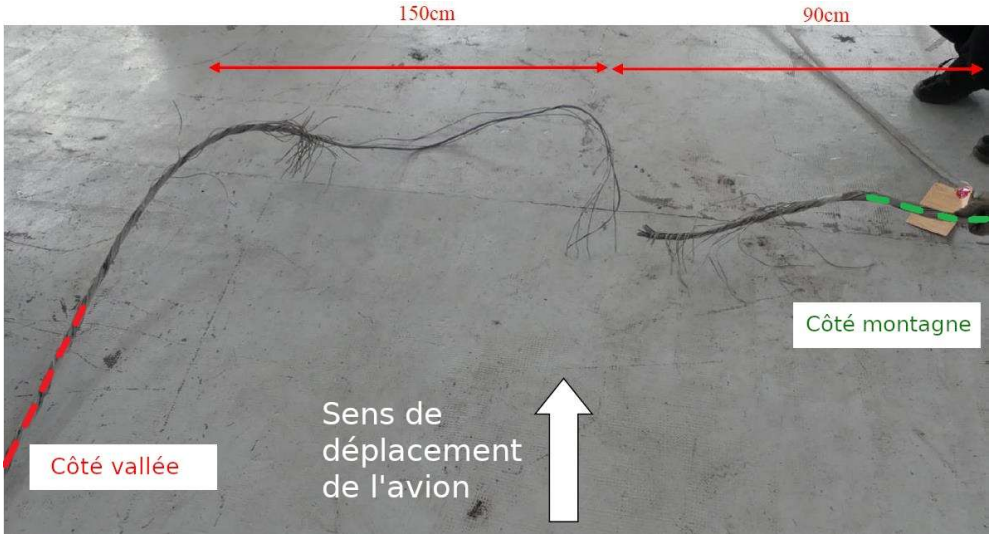

Figure 18 : rupture du câble 2

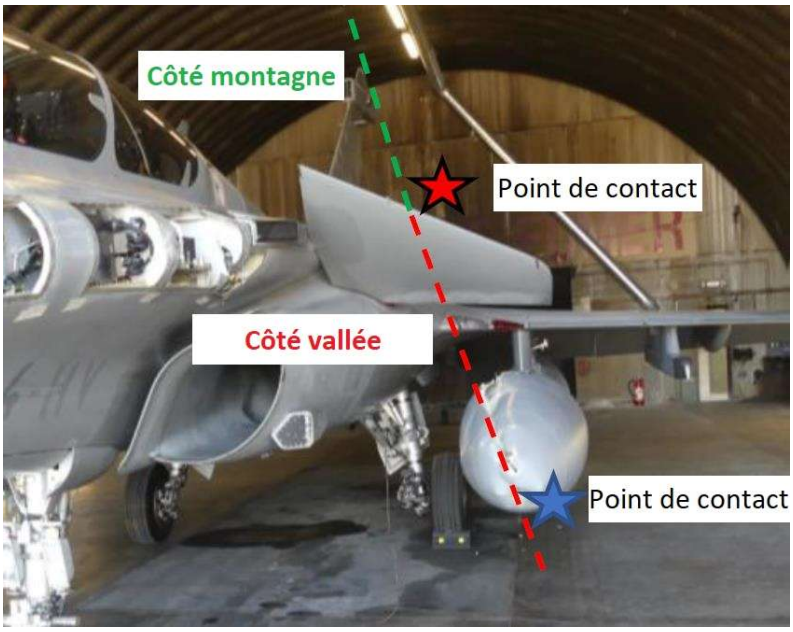

Figure 19 : mode de rupture probable du câble 2

Le câble 2 a été heurté par le plan canard gauche et s'est rompu instantanément. Après sa rupture, il est entré en contact avec le réservoir pendulaire et l'a fortement endommagé. Une fois au sol, il a causé l'incendie par contact avec le câble 1.

2.1.3.1.3. Câble 3

La bajoue présente de multiples ruptures et déformations sur sa peau en composite mais aussi sur les cadres métalliques situés en dessous. Le passage d'un câble est facilement observable sur la peau, déchirée sur environ 180 centimètres. Le cadre 16 est rompu en haut et en bas par le passage d'un câble mais n'est que partiellement déchiré. Ceci montre qu'un câble s'est rompu sur ce cadre.

La fin de la déchirure de la peau de la bajoue est alignée avec les dommages présents sur l'entrée d'air du moteur gauche. Ceci montre que le câble qui a endommagé l'entrée d'air est celui qui s'est rompu sur le cadre 16.

Le câble 3 ne présente pas de rupture nette et semble avoir frotté plus longtemps sur l'avion sans avoir été heurté par un élément rigide. Une deuxième zone de contact est présente à 1,1 m de la rupture côté vallée. Le câble y est plié et des torons extérieurs sont rompus. Cette zone semble correspondre au contact avec l'entrée d'air.

Le câble 3 ne présente pas de trace d'incendie.

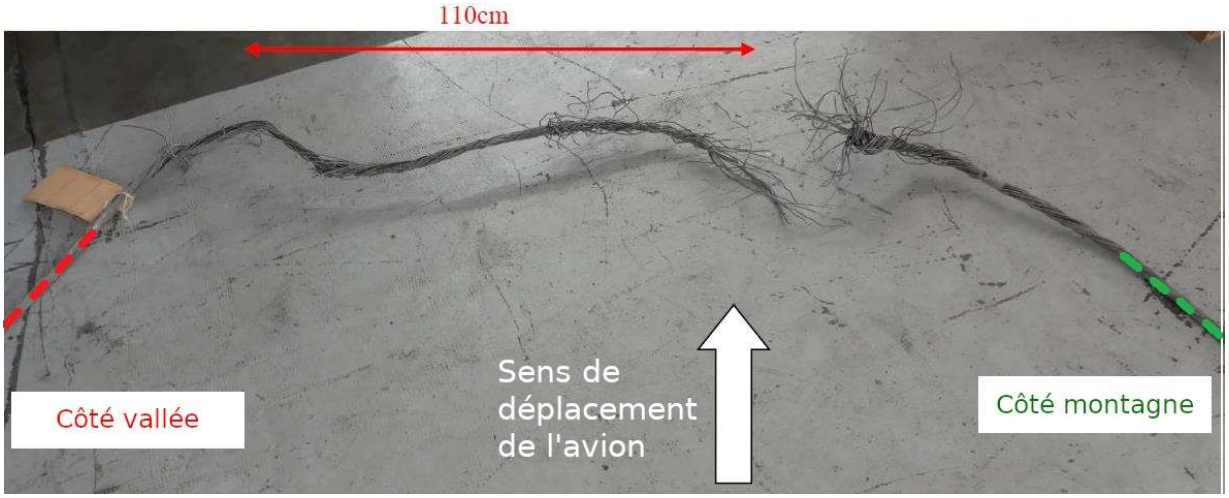

Figure 20 : rupture du câble 3

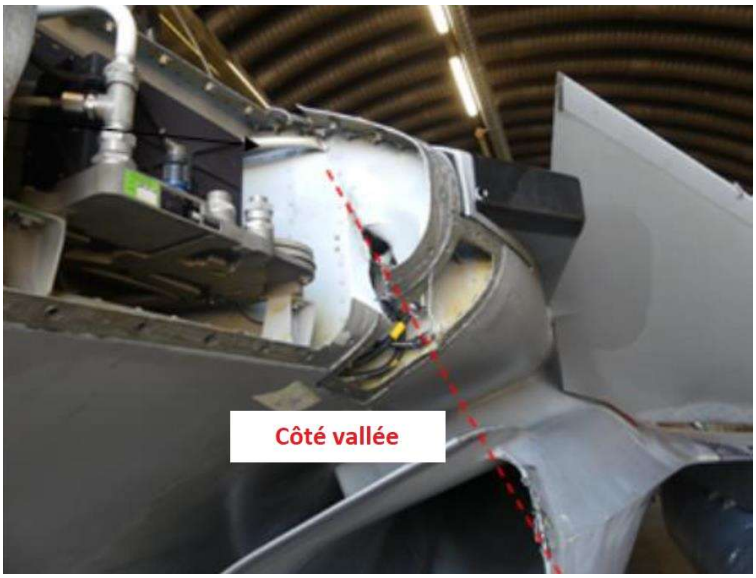

Figure 21 : mode de rupture probable du câble 3

Le câble 3 a glissé le long de la bajoue gauche en déchirant sa peau puis s'est rompu lorsqu'il était en contact avec le cadre 16 et l'entrée d'air. Ce câble n'a pas causé d'incendie au sol.

2.1.3.2. Attitude de l'avion au moment de la collision

Les informations transmises par ENEDIS ont permis de déterminer que :
- les poteaux ont une hauteur de 12 mètres ;
- l'espacement entre les câbles est de 6 mètres ;
- la distance horizontale entre les poteaux est de 1 214 mètres ;
- la hauteur estimée de la ligne en fond de vallon est de 75 mètres.

Avec ces informations et les relevés topographiques, la courbure de la ligne a été estimée à l'aide de l'équation de la chaînette[26]. La position de la collision est estimée à l'aide des photos prises sur le terrain. La courbe ainsi tracée permet d'estimer la pente de la ligne au niveau de la collision à environ 10%, soit environ 6°.

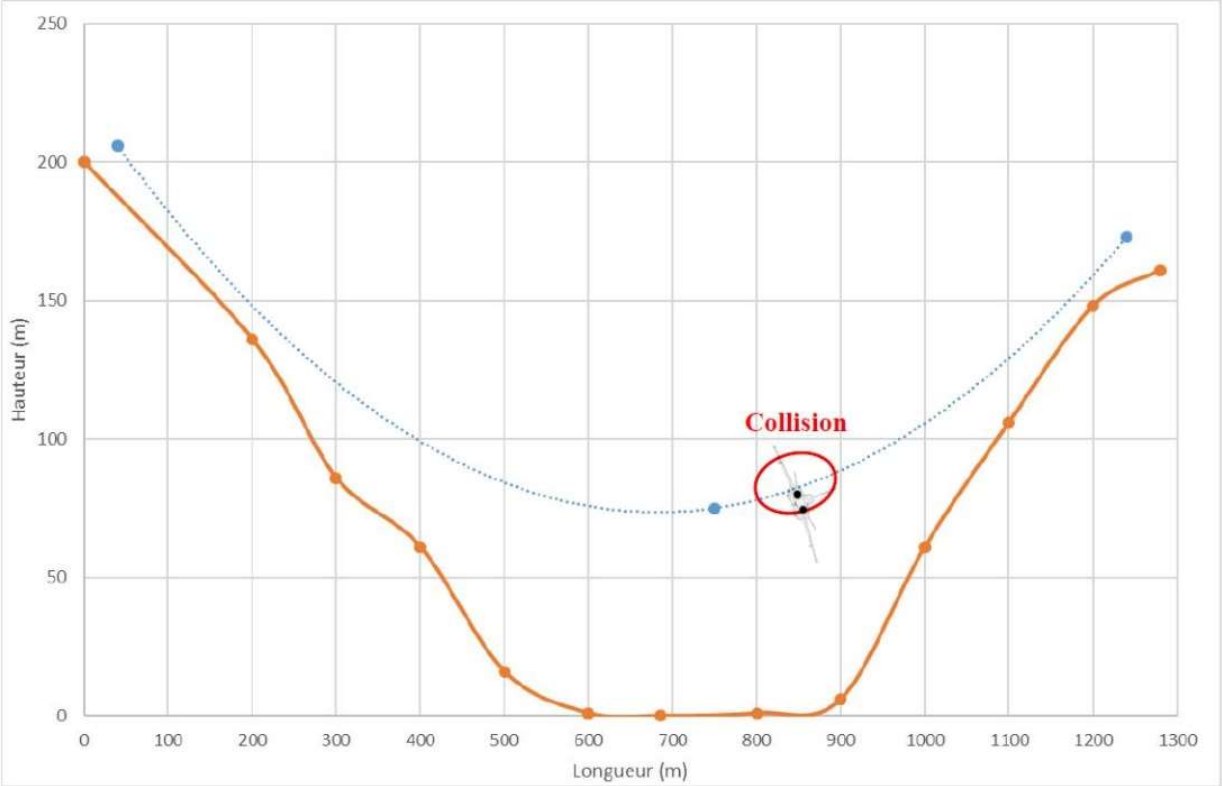

Figure 22 : courbure de la ligne électrique et relevés topographiques vus de l'arrière de l'avion

L'angle entre les traces des câbles sur la cellule de l'avion et la verticale a été relevé à environ 80° auquel il faut soustraire les 6° de la pente précédemment déterminée pour obtenir l'attitude de l'appareil.

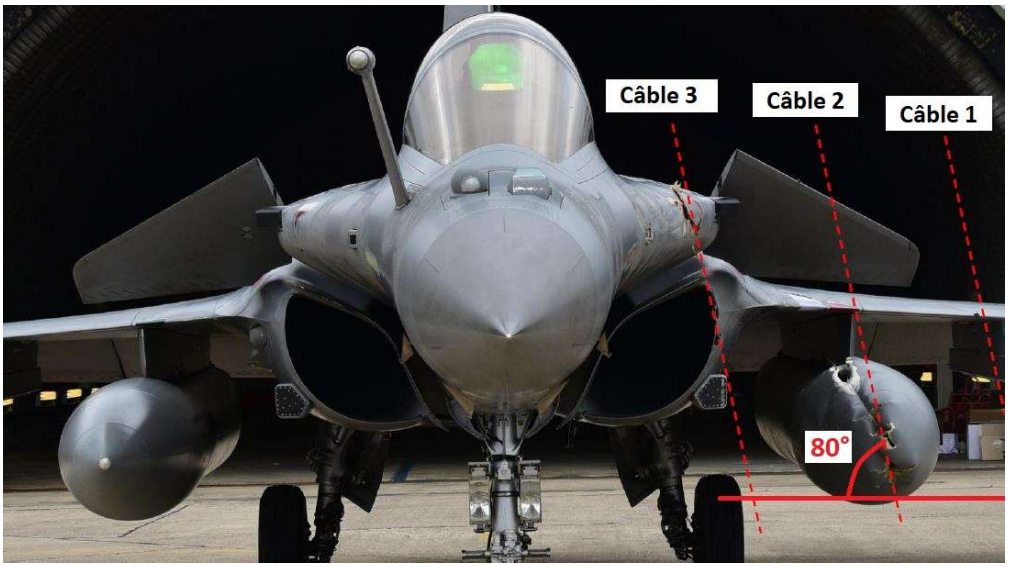

Figure 23 : vue de devant de la position des câbles sur l'avion au moment de la collision

[26] L'équation de la chaînette permet de décrire mathématiquement la courbe que prend un câble suspendu par ses extrémités et soumis à son propre poids.

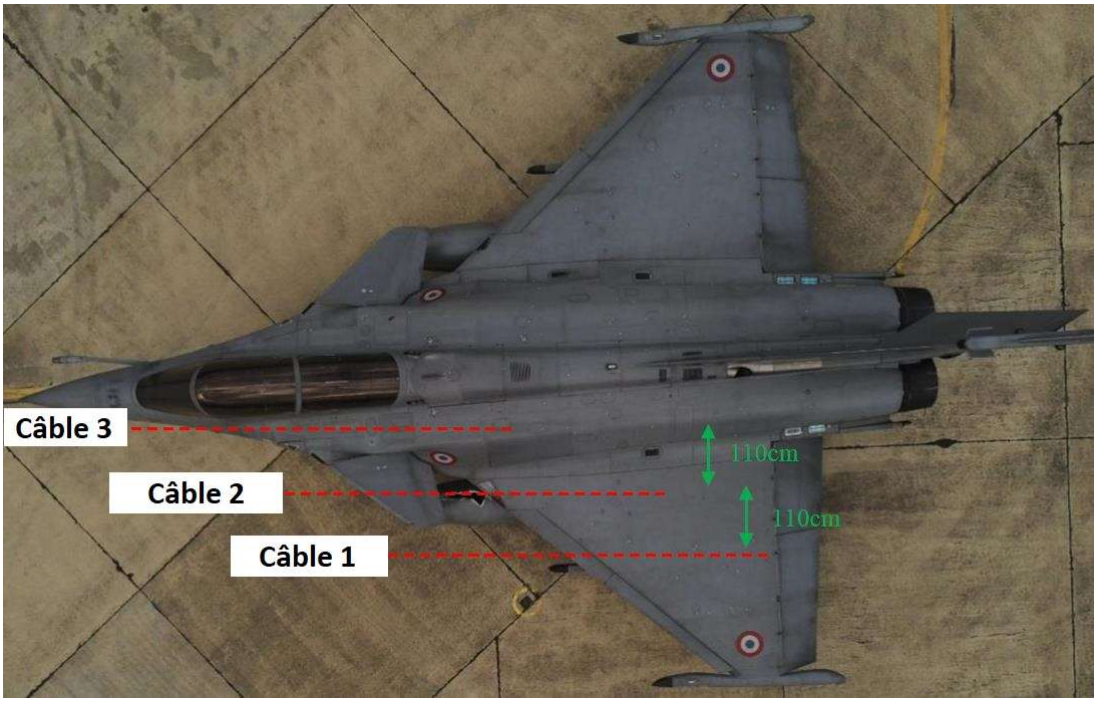

Figure 24 : vue de dessus de la position des câbles sur l'avion au moment de la collision

L'expertise de l'avion et des câbles indique que le Rafale est incliné d'environ 74° à droite au moment de la collision.

2.1.3.3. Défaillance du générateur d'oxygène

Une des tuyauteries du générateur d'oxygène est rompue et écrasée à deux endroits par le passage d'un câble. Cela a provoqué la défaillance du générateur et la perte de l'alimentation en oxygène des masques de l'équipage.

Figure 25 : générateur d'oxygène endommagé

Les à-coups de pression ressentis dans le masque par le pilote sont dus à la défaillance du générateur d'oxygène, elle-même provoquée par le passage d'un câble au travers de la bajoue.

2.1.3.4. Défaillance du radar et du Spectra

Des tuyauteries de l'EES sont sectionnées entre les cadres 16 et 17. Cela a engendré la fuite de Coolanol observée et la perte du refroidissement du radar et du Spectra, équipements raccordés au même circuit.

Figure 26 : tuyauteries de refroidissement de l'EES sectionnées

La défaillance du radar et du Spectra est due à la rupture d'une canalisation de refroidissement au passage d'un câble dans la bajoue.

2.1.4. Expertise du moteur gauche

Le moteur gauche a été expertisé car il a été constaté des impacts sur les aubes du compresseur lors de l'examen de l'avion. Le M88 étant un moteur modulaire[27], la dépose des différents modules a été effectuée et a confirmé l'absorption de corps étrangers.

Les expertises du moteur gauche montrent que celui-ci a absorbé en vol des morceaux de torons en aluminium de l'enveloppe extérieure des câbles électriques percutés.
Les dommages subis n'ont pas eu d'effet significatif sur les performances du réacteur dans la partie du domaine de vol dans laquelle a eu lieu l'évènement.

2.1.5. Exploitation des enregistreurs de données

Les enregistreurs de données (EVN, ESPAR) des deux avions leader et équipier ont été exploités par RESEDA. L'ESPAR permet d'obtenir les données de vol, et l'EVN la vidéo filmée devant l'avion comprenant la VTH et l'audio du cockpit. Les enregistrements des communications radio avec le CDC Rambert et la tour de contrôle d'Orange ont permis de compléter l'exploitation des EVN. En effet, l'EVN n'enregistre pas les communications radio entrantes, mais seulement celles émises par l'équipage.

[27] Le M88 est composé de 21 modules remplaçables isolément dans le but de faciliter sa maintenance et d'améliorer sa disponibilité.

La visualisation des vidéos de l'EVN des deux avions permet de déterminer que :
- la mission s'est déroulée sans anomalie jusqu'à l'évènement ;
- le navigateur leader indique à son pilote qu'il pourra descendre à partir du point de navigation 41 ;
- le pilote leader a vu les câbles au dernier moment et n'a pas pu les éviter ;
- l'avion leader avait une forte inclinaison à droite au moment de la collision ;
- la radiosonde de l'avion leader indique 290 ft en VTH à cet instant et celle de l'équipier 510 ft ;
- il n'y a pas de descente significative en-dessous de 250 ft pendant le vol.

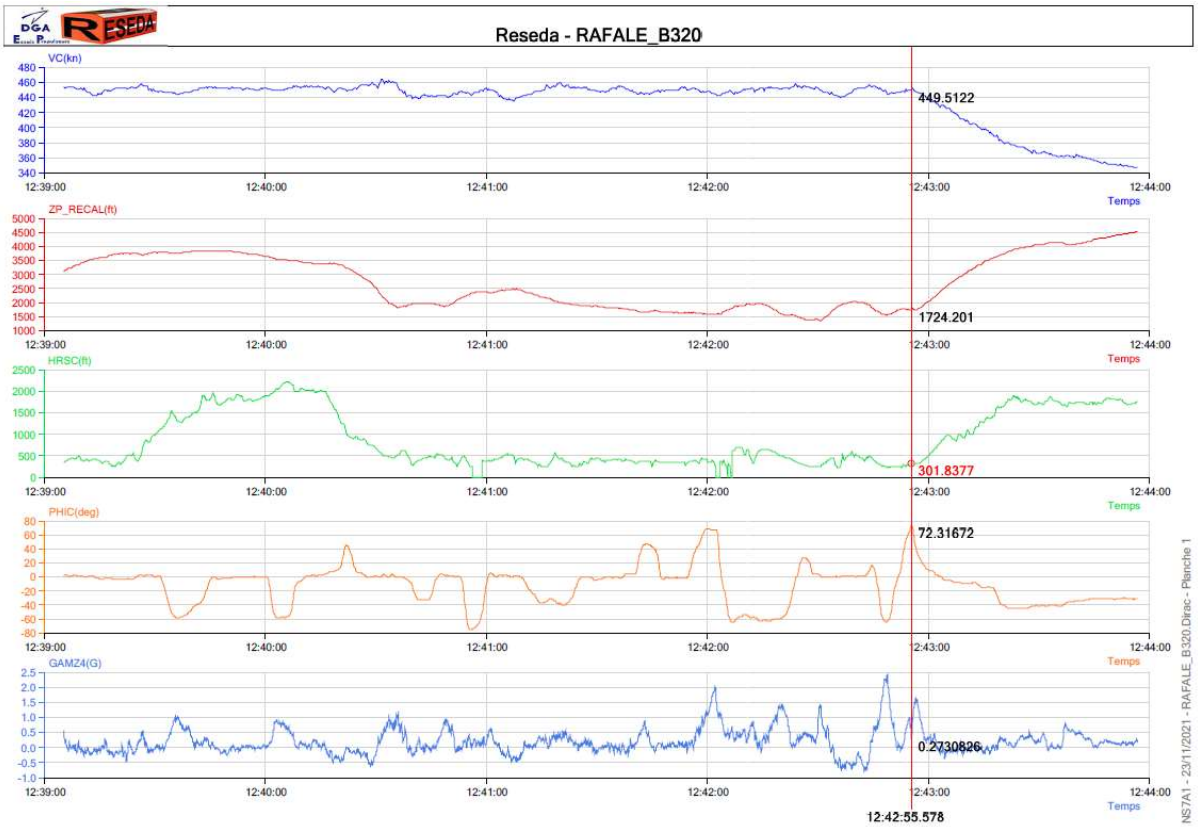

Figure 27 : principaux paramètres de vol extraits de l'ESPAR de l'avion leader

L'exploitation de l'ESPAR a montré que l'avion et l'ensemble de ses systèmes ne présentaient pas de défaillance technique avant l'évènement. Les paramètres de vol indiquent que l'inclinaison de l'avion au moment de la collision est de 72° à droite, la hauteur radiosonde de 302 ft et la vitesse indiquée de 450 kt.

2.2. Séquence de l'évènement

La séquence conduisant au heurt des trois câbles traversant la vallée du Castellet par le Rafale B n° 320 est établie comme suit :
- la veille de l'évènement, le navigateur équipier prépare la mission avec un tracé à 500 ft minimum ;
- le jour de l'évènement, le mercredi 17 février 2021, le pilote leader mène le briefing avant vol avec les membres de sa patrouille. Il indique qu'ils descendront en TTBA dans les zones dédiées entre Avord et Perpignan et entre Orange et Saint-Dizier pour entraîner son navigateur ;
- après un ravitaillement en vol et une percée sur Orange, la patrouille redescend en TBA ;
- le navigateur de l'avion leader indique à son pilote qu'il peut descendre en TTBA à partir du point 41 ;
- le pilote leader règle la hauteur de garde de sa radiosonde à 150 ft et vise une hauteur de 250 ft dans la zone VOLTAC LUC ;
- le navigateur leader remarque sur la carte un triangle violet signalant un danger au sud de la vallée du Castellet. Il ne l'indique pas à son pilote, estimant que le danger se trouve hors de leur trajectoire ;
- en virage à droite dans la vallée du Castellet, à une hauteur de 290 ft, le pilote leader aperçoit les câbles mais ne peut les éviter. L'avion les percute à une vitesse indiquée de 450 kt.

2.3. Recherche des causes de l'évènement

Les causes de l'évènement sont recherchées dans le domaine des facteurs organisationnels et humains.

2.3.1. Nature du vol

Le vol s'inscrit dans le cadre d'un exercice complexe au sol et en vol d'une durée de trois jours. La veille de l'évènement, le pilote leader en tant que commandant d'escadron et le navigateur leader en tant que personnel d'astreinte ont été fortement sollicités lors des exercices au sol. La durée prévue du vol est d'environ deux heures. Cependant, connaissant la charge de travail des jours précédents, le commandant d'escadron programme un vol dense mais sans difficulté tactique.

L'évènement survient après une heure et demie de vol alors que l'équipage a déjà réalisé une phase de vol en TBA, une phase en TTBA au-dessus de la mer, un rassemblement, un ravitaillement et une percée sur Orange. Il est alors sur le retour vers Saint-Dizier pour le dernier exercice.

La mission est dense et longue. L'évènement survient en fin de vol.

2.3.2. Expérience de l'équipage

2.3.2.1. Caractéristiques des équipages de la patrouille

La patrouille est composée de deux avions. L'équipage de l'avion leader est composé d'un pilote commandant de bord, qui est le commandant d'escadron. Il est qualifié chef de patrouille. Très expérimenté, il a réalisé la totalité de sa carrière de pilote de chasse sur Rafale, sur la base de Saint-Dizier depuis 2011. Il totalise environ 2 000 heures sur l'aéronef. Le navigateur leader est quant à lui peu expérimenté. Il est qualifié NOSA opérationnel depuis juin 2020. Il totalise environ 300 heures de vol sur Rafale.

L'équipage de l'avion équipier est composé d'un pilote à l'instruction. Il a été affecté au sein de l'escadron en octobre 2020. Le navigateur équipier est quant à lui qualifié sous-chef de patrouille, il possède une expérience certaine sur l'aéronef. Il est commandant de bord de son avion.

La mission doit permettre au navigateur leader et au pilote équipier d'acquérir de l'expérience ce qui oblige le pilote leader et le navigateur équipier à une attention particulière.

Chaque avion de la patrouille comporte un membre d'équipage peu expérimenté.

2.3.2.2. Connaissance de la zone

Le pilote leader est affecté à Saint-Dizier depuis 2011. Pour les trois autres membres d'équipage, c'est leur première affectation. La majorité de leurs vols d'entraînement se déroule dans le quart nord-est de la France. Les missions dans le sud de la France sont exceptionnelles. L'équipage n'a donc que très peu d'expérience récente dans les zones montagneuses de cette région.

L'ensemble de la patrouille a peu d'expérience récente de vol dans les régions montagneuses du sud de la France.

2.3.2.3. Vol TBA et TTBA

Le spectre des missions du Rafale est très large. Afin d'acquérir de l'expérience sur la totalité du spectre missionnel, les équipages rentabilisent chaque heure de vol. Pourtant, compte tenu de la complexité des systèmes de l'avion, les missions à forte dimension tactique en haute altitude sont privilégiées au détriment des missions comportant des phases de vol basiques en TBA ou en TTBA. En effet, l'objectif principal est de faire acquérir des compétences aux équipages quant à l'usage des systèmes embarqués.

Ce constat conduit à une perception par les équipages d'une moindre expérience et maîtrise des savoir-faire basiques en TBA et TTBA. C'est la raison pour laquelle le pilote leader décide d'introduire ce type de vol dans la mission.

La prédominance des vols avec de forts enjeux tactiques en haute altitude a conduit à une perception de moindre aisance par les équipages en TBA et TTBA.

2.3.3. Anticipation des risques

2.3.3.1. Préparation de la mission

La veille, le navigateur équipier prépare la mission et trace le trait de vol en prenant en compte une hauteur minimale de 500 ft. Il identifie les obstacles présents à proximité du trait prévu. Le pilote leader n'est pas présent car il est mobilisé par l'exercice au sol. Les tronçons de vol à 250 ft ne sont pas préparés et les zones permettant ce type de vol ne sont pas recherchées.

Les tronçons de vol à 250 ft ne sont pas identifiés lors de la préparation de la mission. Ceci ne garantit pas une totale sécurité de la patrouille par rapport à l'environnement sur ces tronçons.

2.3.3.2. Briefing sur le vol TTBA

Le jour de l'évènement, le pilote leader mène le briefing de la mission devant l'ensemble des membres de sa patrouille.

Le navigateur leader est revenu récemment d'une opération extérieure au cours de laquelle il n'a pas réalisé de survol TTBA. Lors de ce briefing, le pilote leader indique donc que pour réaccoutumer son navigateur, ils réaliseront ce type de vol dans les zones dédiées entre Avord et Perpignan et entre Orange et Saint-Dizier, mais sans préciser les tronçons exacts de vol. L'absence d'information précise sur les zones exactes de vol TTBA ne permet pas d'anticiper les risques sur ces tronçons.

La patrouille a connaissance de la volonté du pilote leader de réaliser des phases en TTBA lors des deux transits en TBA prévus au cours de la mission. Cependant, les tronçons exacts qui seront réalisés en TTBA ne sont pas identifiés et ne peuvent donc pas être préparés.

2.3.3.3. Suivi du trait de vol

Les équipages sont susceptibles de s'écarter du trait de vol selon le relief rencontré et pour les besoins des exercices. De plus, la navigation « impromptue » fait partie du catalogue des exercices à la décision du responsable de mission (EIDRM) autorisés par les CPIPN dans le paragraphe 941. La réalisation des EIDRM impose que le commandant d'escadrille inscrive sur le cahier d'ordres les noms du personnel pouvant les ordonner. Le pilote leader est désigné sur l'ordre de vol comme pouvant ordonner ces exercices.

Le fait qu'au moment de l'évènement la patrouille se soit légèrement écartée du trait de vol afin de suivre la vallée du Castellet ne constitue pas une anomalie au regard des CPIPN et des ordres de vol.

2.3.3.4. Risque causé par les lignes électriques

La mission se déroulant principalement en TBA et ponctuellement en TTBA, le pilote leader est conscient du risque encouru en raison des nombreuses lignes électriques non répertoriées sur la carte. Lors du briefing, il rappelle l'importance de la surveillance du ciel. Il précise également que, dans ces phases de vol, il est important que le pilote regarde exclusivement dehors et fasse confiance à son navigateur pour la gestion de la mission.

Par ailleurs, en vol, alors que le pilote leader s'apprête à descendre à une hauteur de 250 ft, il rappelle une nouvelle fois le risque de croiser des lignes électriques non répertoriées à cette hauteur.

Le risque de présence de lignes électriques non inscrites sur les cartes aéronautiques est bien pris en compte.

2.3.4. Perception des lignes électriques

2.3.4.1. Balisage et représentation de la ligne électrique

La réglementation relative au balisage des obstacles et des lignes électriques repose sur les deux arrêtés suivants :

- l'arrêté du 25 juillet 1990, relatif aux installations dont l'établissement à l'extérieur des zones grevées de servitudes aéronautiques de dégagement est soumis à autorisation ;
- l'arrêté du 23 avril 2018, relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne.

L'arrêté de 1990 précise dans son article 2 quelles sont les installations, y compris les lignes électriques, qui peuvent être soumises à un balisage diurne et/ou nocturne. Il s'agit d'installations dont la hauteur est supérieure à :

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

Ainsi, la ligne impliquée dans l'évènement qui a été heurtée à une hauteur de 302 ft (soit 92 mètres) peut être soumise à un balisage, mais sans que cela ne soit obligatoire.

L'arrêté de 2018 précise dans son article 2 que « les autorités de l'aviation civile et de la défense territorialement compétentes peuvent imposer pour un obstacle donné un balisage spécifique dans le cas où elles l'estiment nécessaire pour renforcer son repérage ». La ligne concernée n'était pas balisée car ni la direction générale de l'aviation civile (DGAC) ni la DSAÉ ne l'a imposé. Le chapitre 5 de l'annexe 1 de ce même arrêté spécifie le type de balisage à employer pour les obstacles filiformes et leurs pylônes. Le balisage des câbles doit être réalisé à l'aide de balises sphériques d'un diamètre minimal de 60 centimètres.

Les spécifications[28] de la carte 500 k indiquent que les lignes de tension supérieure ou égale à 63 kV sont toutes représentées. De plus, les lignes traversant une vallée encaissée à plus de 330 ft de hauteur sont représentées depuis 2017, quelle que soit leur tension. Ceci fait suite à une étude initiée par la DIRCAM en 2015 après les signalements de plusieurs dangers aéronautiques par les utilisateurs. Par ailleurs, l'arrêté du 6 juillet 2018, relatif aux cartes aéronautiques précise que « *les obstacles hors agglomérations qui s'élèvent à 100 m (330 pieds) ou plus au-dessus du sol sont représentés sur les cartes aéronautiques au 1/500 000* ».

[28] Spécifications - carte aéronautique LFC - France, version 10.0 du 2021-04-22 publiées par l'IGN.

La ligne heurtée a une tension de 20 kV, et une hauteur inférieure à 330 ft car elle a été sectionnée à 302 ft à proximité de son point le plus haut par rapport au sol. Il est donc normal qu'elle ne soit pas représentée sur la carte.

Catégorie	Largeur du signe en mm	Largeur et style de trait en mm	Couleur	Symbole
Ligne électrique ≥ 225 kV	1,9	Trait continu	NOIR 100%	
Ligne électrique ≥ 63 kV et < 225 kV	1,9	Trait tireté tiret 2, blanc 1	NOIR 100%	
Ligne électrique > 330 ft AGL traversant une vallée encaissée	1,2 Avec liseré blanc de 0,6	Dépend du type de ligne	PURPLE 100% Liseré : Blanc (opacité 70%)	

Figure 28 : représentation des lignes électriques sur la carte 500 k

L'absence de balisage de la ligne électrique est conforme à la réglementation car celui-ci n'est pas obligatoire. De plus, ni la DGAC ni la DSAÉ n'a formulé de demande spécifique de balisage pour cette ligne. L'absence de représentation de la ligne sur la carte 500 k est donc conforme aux spécifications de cette carte et à la réglementation.

2.3.4.2. Caractéristiques visuelles

Les câbles heurtés par l'avion leader traversent la vallée, leur diamètre est de 15,75 mm. En prenant pour hypothèse un contraste maximal de la ligne avec son environnement, elle ne pouvait être visible qu'à une distance d'environ 54 m par une personne avec une acuité visuelle de 10/10[29]. Dans un avion évoluant à 450 kt, soit environ 230 m/s, l'équipage est dans l'incapacité physiologique de détecter cette ligne suffisamment tôt pour tenter une manœuvre d'évitement. De plus, dans la situation rencontrée, le contraste n'est en réalité pas optimal car les câbles électriques se confondent avec l'arrière-plan montagneux, ne sont pas balisés et sont même partiellement masqués par le coude que forme la vallée. La détection de la ligne électrique est donc rendue impossible par la situation de vol.
Afin de détecter les lignes, les équipages recherchent surtout les pylônes soutenant ces lignes. Compte tenu de la hauteur de vol de l'avion, les pylônes présents à droite de la vallée ne sont que très peu visibles car ils ne se détachent pas de leur environnement, contrairement aux pylônes de gauche qui semblent se détacher de l'arrière-plan. Cependant, la ligne se trouve dans une zone de la vallée formant un coude, et l'avion est en virage à droite incliné de 72° au moment de la collision. Dans cette position, les pylônes de gauche sont masqués par le bas du fuselage et les pylônes de droite faiblement visibles dans leur environnement.

Les caractéristiques des câbles et des pylônes dans l'environnement de vol les rendent imperceptibles à l'œil en vol à 450 kt.

2.3.4.3. Surveillance du ciel

Les pylônes de gauche se détachent de l'environnement mais n'ont pourtant pas été détectés par l'équipage avant la mise en virage à droite qui a précédé la collision. Pour suivre les courbures de la vallée, l'avion est alternativement en virage à droite, puis à gauche puis de nouveau à droite. Les pylônes de gauche ne se trouvent donc qu'à de très brefs instants dans le champ de vision centrale de l'équipage, zone d'acuité maximale. Sans une stratégie volontaire de balayage visuel à la recherche de pylônes sur les lignes de crête, il apparaît alors difficile de détecter leur présence.

[29] Une acuité de 10/10 correspond à la capacité de discerner un objet de 0,3 mm à une distance d'un mètre.

Or, une quinzaine de secondes avant l'évènement, le navigateur annonce la présence de câbles indiqués sur la carte 500 k. Ils sont alors détectés par le pilote qui les survole avant de rentrer dans la vallée du Castellet. Il est possible qu'ayant détecté une ligne quelques instants avant, l'attention de l'équipage sur la surveillance du ciel ait été ponctuellement plus faible diminuant donc les capacités de détection de la ligne heurtée.

Une baisse d'attention sur la surveillance du ciel consécutive à la détection de câbles quelques instants avant l'évènement est possible.

2.3.4.4. Caractéristiques du vol en patrouille dans les vallées

Avant le ravitaillement, les deux avions se rassemblent. Il est prévu que le reste de la mission se fasse en patrouille. Dans cette configuration, chaque aéronef a pour tâche d'assurer la surveillance du ciel pour lui mais aussi pour la patrouille.

Après la percée à Orange, les deux équipages s'apprêtent à passer en vol TTBA dès qu'ils entreront dans une zone dédiée. Lors du briefing, le pilote leader insiste sur le risque du vol en patrouille dans les vallées et notamment le risque pour l'avion équipier de rentrer dans le souffle de l'avion leader. Pour pallier ce risque, le pilote leader décide l'adoption d'une formation de type FMC avec un étagement positif et un espacement d'environ un nautique entre les deux avions. Cette formation permet de gérer le risque que constitue le souffle du leader mais limite la capacité de surveillance mutuelle du ciel de la patrouille.

La formation adoptée, conforme aux besoins du vol TTBA dans les vallées, ne permet pas à l'avion équipier d'assurer la surveillance du ciel au profit de son leader.

2.3.5. Interprétations erronées de la carte 500 k

2.3.5.1. Symbole de danger en vol

Sur la carte 500 k, il figure des triangles violets indiquant les dangers en vol identifiés par les usagers de la Défense. Ils peuvent notamment représenter des lignes électriques ou des antennes. Dans tous les cas, ils indiquent un danger qui ne figurerait pas sur la carte en suivant les règles de représentation normales. Suite à l'accident du Fouga Magister en 1995, ce symbole a été rajouté sur la carte 500 k pour indiquer la présence de cette ligne.

L'enquête a révélé une méconnaissance du sens de ce symbole de danger par l'équipage concerné, mais aussi par beaucoup d'autres équipages. Généralement associé à un danger ponctuel comme une antenne, son positionnement sur la carte est alors interprété comme un point fixe et non comme la présence potentielle d'une ligne. Cette représentation préétablie du sens du symbole est faussement confirmée lorsque le navigateur leader observe la présence d'une antenne sur la crête sud de la vallée. L'antenne qu'il observe étant non conflictuelle avec la trajectoire, il ne la signale pas à son pilote. Le fait que le positionnement du triangle violet soit légèrement décalé par rapport à l'emplacement réel de la ligne a renforcé la confusion avec l'antenne préalablement identifiée.

Une interprétation erronée du sens du symbole de danger en vol ainsi que son léger décalage par rapport à la réalité ont empêché l'identification d'un danger sur la trajectoire de la patrouille.

2.3.5.2. Hauteur de vol autorisée

Sur le cahier d'ordres et comme briefé avant le vol, le pilote leader a inscrit la possibilité de voler en TTBA à 250 ft dans les « zones dédiées ». Ceci est conforme aux CPIPN qui demandent au paragraphe 311 l'inscription de la mention « vol < 500 ft » dans l'ordre de vol et dans la marge lors du débriefing.

Cependant, les CPIPN précisent dans le paragraphe 310 que les vols à une hauteur inférieure à 500 ft sont effectués :

- a. sur la mer si l'horizon est bien marqué à plus de 5 NM des côtes ;
- b. dans les SETBA définis dans le MILAIP France ;
- c. durant les exercices majeurs lorsque les zones le permettent ;
- d. en entraînement à l'étranger si la réglementation locale le permet.

Les secteurs VOLTAC ne font pas partie de cette liste de cas autorisés.

Les secteurs VOLTAC et les SETBA sont définis dans le MILAIP France. Sur la carte 500 k, les SETBA sont représentés par des noms complets (par exemple AUBE, ARDÈCHE, DRÔME) tandis que les secteurs VOLTAC sont désignés par trois lettres (exemple GIH, ETN, PHG). Cependant, certains secteurs VOLTAC portent un nom complet en trois lettres, comme LUC, PAU ou DAX. De plus, le trait délimitant les deux types de secteurs est de même couleur et de même épaisseur. Le secteur VOLTAC LUC étant un nom complet composé de trois lettres, il a été identifié de manière erronée par le navigateur leader comme un SETBA. Il indique alors à son pilote la possibilité d'y descendre en TTBA.

L'équipage de l'avion leader n'a donc jamais eu conscience d'être dans un secteur VOLTAC. Pourtant dans ce type de secteur, si la probabilité de rencontrer des lignes électriques est identique à celle d'un SETBA, la probabilité d'y croiser un hélicoptère en basse altitude et à basse vitesse est élevée. Il y existe donc un risque d'abordage potentiellement plus élevé qui n'a pas été identifié par l'équipage.

Ce risque est pourtant rappelé par la circulaire militaire d'information aéronautique n° 05/20 du 6 juillet 2020, qui recommande de se renseigner sur les vols qui sont prévus dans le secteur concerné auprès de l'unité utilisatrice. Du fait de la confusion du secteur VOLTAC LUC avec un SETBA et de l'absence d'identification précise des tronçons effectués en TTBA avant le vol, cette coordination n'a pas été envisagée par l'équipage.

En raison d'une interprétation erronée de la représentation graphique de la carte, l'avion leader est descendu en TTBA dans la zone VOLTAC LUC. Or, les secteurs VOLTAC ne font pas partie des zones où le vol TTBA est autorisé par les CPIPN. Ainsi, le risque d'abordage avec un hélicoptère n'a été ni identifié ni géré par l'équipage. Par ailleurs, la probabilité de rencontrer des lignes électriques est la même dans les secteurs VOLTAC et SETBA.

2.3.6. Adéquation des règlements

2.3.6.1. Hauteur de vol minimale et relief

Pour le vol TTBA en CAM T, le REAC précise au paragraphe 320 que la hauteur minimale doit être calculée au-dessus de l'obstacle le plus élevé situé dans un rayon égal à la distance parcourue en 10 secondes de vol.

Or, cette règle n'est pas connue de tous les équipages et apparaît difficilement applicable par les équipages de chasse du fait des vitesses d'évolution de leurs aéronefs et des caractéristiques de leurs missions. En effet, à la vitesse de 450 kt utilisée en général en vol TTBA, 10 secondes de vol correspondent à environ 2 300 mètres. Les équipages devraient donc prendre en compte tous les obstacles situés à 2 300 mètres de part et d'autre de leur trajectoire, soit une bande de 4 600 mètres. Dans la pratique, cette règle est difficilement applicable en région montagneuse, car cela reviendrait à ne voler que dans des vallées d'une largeur supérieure à 4 600 mètres. Pourtant, en raison de la nature de leurs missions opérationnelles, le vol en TTBA dans tous types de vallée est une compétence indispensable pour les équipages de chasse. Dans ces conditions, il apparaît difficile voire impossible de respecter la consigne du REAC sans perdre la finalité de ce type de vol.

Le REAC précise aussi au paragraphe 321 qu'une exception peut être faite dans les régions montagneuses pour le survol des obstacles situés sur le travers sur l'initiative du commandant de bord en cas de force majeure liée aux conditions météorologiques uniquement. Cette exception liée à des conditions météorologiques défavorables est très restrictive et ne s'applique pas au vol de l'évènement, car les conditions météorologiques étaient favorables.

Au moment de la collision, l'équipage de l'avion leader ne respectait pas la consigne du REAC imposant de calculer la hauteur minimale en vol TTBA par rapport à l'obstacle le plus élevé dans un rayon de 10 secondes de vol. Cependant, cette consigne apparaît peu adaptée aux missions que doivent réaliser les équipages de chasse, en raison du relief situé sur le travers lors de vols TTBA dans des vallées.

2.3.6.2. Définition des zones dédiées au vol TTBA

D'après le RCAM, les avions de chasse évoluent en-dessous de 500 ft en CAM T sous les règles définies par l'autorité d'emploi. Hors des espaces ségrégués comme les portions rabaissées du RTBA, la CAM T doit avoir lieu dans des portions d'espace aérien de classe G définies par l'autorité d'emploi et perméables aux autres usagers autorisés. L'armée de l'Air et de l'Espace définit les règles de la CAM T et les zones dédiées dans le REAC et dans les CPIPN.

Le REAC indique au paragraphe 317 : « Les vols réalisés en-dessous de 500 ft et au-dessus de la terre seront effectués uniquement dans les zones dédiées, notamment les secteurs d'entraînement 250 ft et les tronçons rabaissés du RTBA ». La liste des zones dédiées au vol TTBA décrite dans le REAC ne paraît pas avoir de caractère exhaustif et les deux types de zones indiquées semblent être des exemples. Les secteurs VOLTAC ne sont pas précisés comme étant des secteurs autorisés mais ne sont pas non plus indiqués comme interdits.

En revanche, la rédaction des CPIPN apparaît exhaustive et plus restrictive. Les secteurs VOLTAC ne sont pas mentionnés et le vol TTBA y semble ainsi non autorisé par l'armée de l'Air et de l'Espace.

L'enquête a révélé que les équipages de Rafale ne partagent pas une représentation commune des zones autorisées : certains pensent pouvoir voler en TTBA dans les secteurs VOLTAC quand d'autres estiment que ce n'est pas permis. Les imprécisions du REAC ont pu participer à cette interprétation divergente des règlements.

La rédaction spécifiant les zones dédiées au vol TTBA dans le REAC est propice aux interprétations et moins restrictive que celle des CPIPN. Ce manque de clarté dans la rédaction peut être à l'origine de l'identification erronée des zones dédiées au vol TTBA observée chez certains équipages de Rafale.

2.3.7. Charge de travail des navigateurs

2.3.7.1. Contrôle par le navigateur équipier

En raison de l'expérience plus importante du navigateur équipier, le pilote leader lui demande d'être attentif et de surveiller les décisions prises par le navigateur leader encore peu expérimenté. Or, l'analyse des échanges radio après la percée à Orange montre que le navigateur équipier n'a pas fait d'annonce ni au pilote équipier ni à l'avion leader sur le risque de croiser des hélicoptères en secteur VOLTAC ou sur le symbole de danger présent à proximité de leur trajectoire.

Cela révèle un défaut de contrôle du travail du navigateur leader par le navigateur équipier. Ce défaut de contrôle peut s'expliquer par une attention pleinement orientée sur la surveillance du pilote équipier peu expérimenté.

Attentif aux actions du pilote équipier peu expérimenté, le navigateur équipier a probablement délaissé le contrôle des décisions du navigateur leader.

2.3.7.2. Charge de travail du navigateur leader

Le vol est dense et long. Pour le navigateur leader encore en cours d'acquisition de compétences, ce type de vol nécessite de maintenir en permanence un haut niveau d'attention sur la mission car il n'a encore que peu d'automatismes. De plus, il n'a pas réalisé de mission en TBA/TTBA depuis quatre mois car il revient d'opération extérieure. Une reprise de ce type de vol est nécessairement coûteuse en ressources cognitives.

Par ailleurs, afin de le faire progresser et connaissant ses compétences, le pilote leader décide, après le ravitaillement, de donner à son navigateur la gestion de la radio avec Orange mais aussi avec l'équipier afin qu'il travaille son leadership. Cette tâche supplémentaire exige des ressources cognitives significatives compte tenu de sa faible expérience dans ce domaine.

L'intensité de la charge de travail sur une longue période peut avoir conduit à une altération des capacités attentionnelles du navigateur leader.

2.3.8. Fatigue

2.3.8.1. Navigateur leader

Le navigateur leader revient de deux mois et demi d'opération extérieure durant laquelle il a réalisé près de 130 heures de vol ayant nécessité huit visites au service médical pour dépassement du temps de vol. Il est revenu fin janvier et est de retour en escadron après avoir réalisé les sept jours de confinement liés à la situation sanitaire. En raison des besoins opérationnels, ses permissions n'ont pu être prises à son retour mais sont prévues à la fin de cet exercice qui lui demande un fort engagement. En tant que personnel d'astreinte, ses amplitudes horaires de travail au sol étaient étendues le lundi et le mardi précédant le vol. Arrivé à Avord le lundi à 13h, il quitte son poste à 20h, pour reprendre à 7h le mardi et terminer à 22h.

L'importante charge de travail les deux jours précédant le vol, associée à une activité aéronautique soutenue dans les semaines précédentes, ont pu générer une fatigue lors du vol de l'évènement, long et exigeant.

Compte tenu de l'activité soutenue de ces derniers mois au sol et en vol, il est possible que le navigateur leader ait accumulé une fatigue chronique ayant pu contribuer à l'évènement.

2.3.8.2. Équipages de l'escadron

Depuis la fin de l'année 2020, les équipages de l'escadron ont une forte activité aéronautique en métropole. Ce rythme est resté soutenu depuis le début de l'année 2021. Cette situation s'explique notamment par la pression opérationnelle qui entraîne une diminution du personnel navigant présent à l'escadron alors qu'en parallèle le nombre d'exercices à réaliser reste important.

Habituellement, les visites médicales de dépassement des 30 heures de vol sur un mois glissant sont réalisées lors d'opérations extérieures et exceptionnellement en métropole. Or, depuis la fin de l'année 2020, plusieurs membres du personnel navigant de l'escadron ont dû faire ces visites alors qu'ils n'étaient pas engagés sur un théâtre d'opération extérieure.

L'activité aéronautique soutenue ces derniers mois au sein de l'escadron est propice à la survenue d'une fatigue des équipages.

PAS DE TEXTE

3. CONCLUSION

L'évènement est le heurt d'une ligne électrique par un Rafale B.
#LALT[30]

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

Une patrouille de deux Rafale décolle de la BA 702 d'Avord pour un vol faisant suite à un exercice au sol. L'équipage de l'avion leader est composé d'un pilote expérimenté et d'un jeune navigateur. Celui de l'avion équipier est composé d'un navigateur expérimenté et d'un jeune pilote.
La mission est préparée la veille par le navigateur équipier avec un tracé à 500 ft. Au briefing, le pilote leader indique la possibilité de descendre en TTBA pour entraîner son navigateur. Les ordres de vol mentionnent la possibilité de descendre à 250 ft en zone dédiée. Dans les CPIPN, les secteurs VOLTAC ne font pas partie de la liste des zones où le vol TTBA est autorisé.
Les conditions météorologiques sont favorables. L'aéronef est navigable et ne présente aucune défaillance technique jusqu'à la collision.
Le vol comprend une première phase de navigation en avions isolés en TBA, puis un rassemblement et un ravitaillement en vol. Elle se déroule sans anomalie. La deuxième phase consiste en une percée à Orange puis une navigation en patrouille en TBA.
Peu après la percée à Orange, le navigateur leader observe sur la carte une zone qu'il pense être dédiée au vol TTBA et indique à son pilote la possibilité de descendre en-dessous de 500 ft. L'avion leader descend à 250 ft dans le secteur VOLTAC LUC. Après plusieurs minutes et un court passage au-dessus d'une couche nuageuse, la patrouille traverse la vallée de la Durance pour s'engager dans la vallée du Castellet par Oraison. Le navigateur leader remarque sur la carte un triangle violet qu'il pense représenter l'antenne qu'il aperçoit. Estimant que le danger est hors de la trajectoire de la patrouille, il ne le signale pas à son pilote. L'avion leader heurte et sectionne les trois câbles électriques traversant la vallée du Castellet à 302 ft, 450 kt et incliné à droite de 72°. Le contact entre deux des câbles sectionnés tombés au sol provoque un début d'incendie dans un champ, rapidement maîtrisé par les pompiers.
Fortement endommagé, l'avion leader se pose à Orange une vingtaine de minutes après la collision. L'équipage est indemne. L'équipier remet les gaz et rentre à Saint-Dizier.

3.2. Causes de l'évènement

L'évènement est dû à l'interprétation erronée de la carte par le navigateur leader conduisant à la descente en TTBA dans le secteur VOLTAC LUC, alors que ce type de secteur ne fait pas partie des zones où les CPIPN autorisent le vol TTBA. La charte graphique de la carte ne permet pas de différencier facilement un secteur VOLTAC d'un SETBA et a rendu possible cette erreur. De plus, la rédaction du REAC prête à interprétation et favorise l'incertitude sur la possibilité de voler en TTBA dans les secteurs VOLTAC chez les équipages de chasse de l'armée de l'Air et de l'Espace. Enfin, la préparation de la mission n'a pas permis d'identifier avant le vol les secteurs dans lesquels les phases de vol en TTBA seront effectuées.

La lecture erronée de la carte a aussi conduit le navigateur leader à ne pas tenir compte d'un symbole de danger signalant pourtant la ligne. En effet, le léger décalage entre la position du symbole de danger sur la carte et la position réelle de la ligne lui a fait penser que la trajectoire de la patrouille n'était pas conflictuelle avec l'obstacle signalé.

La fatigue du navigateur leader causée par son engagement opérationnel fort dans les semaines précédentes a pu favoriser ces erreurs.

Elles n'ont pas pu être compensées par la détection visuelle de la ligne par le pilote en raison de l'incapacité physiologique de l'œil humain de percevoir des câbles non balisés d'un tel diamètre à une telle vitesse dans un arrière-plan faiblement contrasté. En effet, la ligne n'était pas dotée de balises sphériques alors qu'elle a

[30] LALT vol à basse altitude. Collision ou quasi-collision avec des obstacles/des objets/le relief pendant un vol intentionnel près de la surface du sol (à l'exclusion des phases de décollage ou d'atterrissage). https://www.icao.int/safety/airnavigation/aig/pages/adrep-taxonomies.aspx.

déjà été heurtée en 1995. Son balisage n'est pas obligatoire. Cependant la réglementation autorise la DSAÉ à demander ce dernier.

Le contrôle exercé par le navigateur équipier, plus expérimenté, n'a pas permis de détecter les erreurs du navigateur leader, moins expérimenté en vol TBA/TTBA. L'ensemble de la patrouille a par ailleurs peu d'expérience récente dans les régions montagneuses du sud de la France.
Enfin, le mode de calcul de la hauteur minimale, décrit dans le REAC comme devant prendre en compte l'obstacle le plus élevé dans un rayon de 10 secondes de vol, n'a pas été respecté par la patrouille. Cependant, il apparaît peu applicable dans les zones montagneuses par les équipages de chasse du fait des vitesses d'évolution de leurs aéronefs.

4. RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

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

4.1.1. Symbole de danger sur la carte 500 k

Le symbole de danger signalant la présence de la ligne électrique suite à l'accident de 1995 était représenté à une position légèrement décalée par rapport à l'emplacement réel des câbles. Suite à l'évènement, sa position a été corrigée lors de la mise à jour de la carte 500 k.

De plus, la méconnaissance de ce symbole et la présence d'une antenne à proximité ont conduit le navigateur leader à le juger non conflictuel avec la trajectoire de la patrouille et à ne pas le signaler au pilote. L'enquête a révélé que de nombreux autres membres du personnel navigant ne connaissaient pas la signification de ce symbole.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à la DSAÉ, en coordination avec les autorités d'emploi, de s'assurer que les symboles de dangers particuliers signalés par les usagers de la Défense soient placés à l'endroit exact des dangers sur la carte 500 k.

R1 – [A-2021-02-A] *Destinataire : DSAÉ*

à la DSAÉ, en coordination avec les autorités d'emploi, d'étudier la mise en place au profit du personnel navigant d'une base de données explicitant la nature des obstacles représentés par les symboles de dangers particuliers.

R2 – [A-2021-02-A] *Destinataire : DSAÉ*

aux autorités d'emploi du ministère des armées de rappeler à leur personnel navigant la signification du symbole de danger particulier signalé par les usagers de la Défense présent sur la carte 500 k.

R3 – [A-2021-02-A] *Destinataires : CEMAAE, CEMAT, CEMM, DGA EV*

4.1.2. Balisage de la ligne

Cette ligne électrique a déjà été liée à un accident en 1995 mais n'a pas été balisée. L'arrêté du 25 juillet 1990 indique que les obstacles d'une hauteur de plus de 80 mètres en dehors des agglomérations peuvent être soumis à un balisage, sans que cela ne soit obligatoire. Cette ligne, heurtée à une hauteur de 92 mètres, est donc concernée. L'arrêté du 23 avril 2018 indique que les autorités de la défense territorialement compétentes peuvent demander le balisage d'un obstacle si elles l'estiment nécessaire, et précise que celui-ci se fait à l'aide de balises sphériques d'un diamètre minimal de 60 centimètres pour les obstacles filiformes.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à la DSAÉ de solliciter le balisage de la ligne traversant la vallée du Castellet.

R4 – [A-2021-02-A] *Destinataire : DSAÉ*

4.1.3. Zones dédiées au vol TTBA

Le RCAM indique que dans les espaces de classe G non ségrégués, les avions de chasse évoluent en dessous de 500 ft en CAM T selon les règles définies par leur autorité d'emploi. Les secteurs VOLTAC ne font pas partie des zones dans lesquelles les CPIPN autorisent le vol TTBA des avions de chasse. Cependant, la rédaction du REAC n'est pas explicite, soulevant des doutes au sein des équipages de chasse quant à la possibilité de voler dans les secteurs VOLTAC.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'Air et de l'Espace de clarifier les zones dédiées au vol TTBA, harmoniser le REAC et les CPIPN et sensibiliser les équipages de chasse sur ce point des règlements.

R5 – [A-2021-02-A] *Destinataire : CEMAAE*

4.1.4. Charte graphique de la carte et secteurs VOLTAC et SETBA

Sur la carte 500 k, les secteurs VOLTAC et les SETBA sont délimités par un trait noir de même épaisseur. Seule leur appellation permet de les différencier : les secteurs VOLTAC sont nommés par trois lettres, alors que les SETBA portent un nom complet. Pour les secteurs VOLTAC dont le nom complet est en trois lettres, il existe un risque de confusion si l'on ne consulte pas le MILAIP.

Par ailleurs, d'autres secteurs utilisés par des hélicoptères sont délimités avec la même représentation graphique :

– e. les secteurs EH utilisés par l'escadron d'hélicoptères 1/67 « Pyrénées » de l'armée de l'Air et de l'Espace, entre le sol et une hauteur de 300 ft ;
– f. les secteurs d'entraînement basse altitude (SEBA) utilisés par les hélicoptères étatiques entre le sol et une altitude de 10 000 ft (Sainte-Léocadie, ALAT) et entre le sol et une altitude de 12 000 ft (Briançon, Gendarmerie nationale).

En conséquence, le BEA-É recommande :

à la DSAÉ de modifier la charte graphique de la carte 500 k afin de pouvoir différencier facilement les SETBA des secteurs utilisés par les hélicoptères.

R6 – [A-2021-02-A] *Destinataire : DSAÉ*

4.1.5. Calcul de la hauteur de vol par rapport aux obstacles situés par le travers

Pour le vol TTBA en CAM T, le REAC précise au paragraphe 320 que la hauteur minimale doit être calculée au-dessus de l'obstacle le plus élevé situé dans un rayon égal à la distance parcourue en 10 secondes de vol. Or, cette règle semble difficilement applicable par les équipages de chasse du fait des vitesses d'évolution de leurs aéronefs et des spécificités de leurs missions. Elle n'est donc en pratique pas respectée. Cependant dans les régions montagneuses, le REAC précise aussi qu'une exception peut être faite pour le survol des obstacles situés sur le travers sur l'initiative du commandant de bord en cas de force majeure liée aux conditions météorologiques uniquement. Cette exception est restrictive et ne permet pas de couvrir les besoins d'entraînement à la pénétration TTBA dans les vallées.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'Air et de l'Espace d'étudier une évolution du REAC concernant la règle de calcul de la hauteur minimum par rapport aux obstacles par le travers en zone montagneuse.

R7 – [A-2021-02-A] *Destinataire : CEMAAE*

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

4.2.1. Information aéronautique civile et secteurs TTBA

Les différents secteurs d'entraînement TTBA explicités au 4.1.4 (SETBA, VOLTAC, EH et SEBA) n'apparaissent pas sur la carte aéronautique civile au 1/500 000e utilisée pour le vol en CAG VFR[31] et publiée par l'institut national de l'information géographique et forestière (IGN) et le service de l'information aéronautique (SIA).

[31] Circulation aérienne générale - *visual flight rules* - règles de vol à vue.

Les secteurs VOLTAC, EH et SEBA sont mentionnés dans la partie 5.3 (*En-route*/Avertissements à la navigation/Autres activités de nature dangereuse et dangers potentiels) de l'AIP[32] France, mais les SETBA n'y figurent pas.

Pourtant, si la majorité des usagers civils doit évoluer au-dessus d'une hauteur de 500 ft, certains sont autorisés à déroger à cette règle :

– g. avions monomoteurs réalisant des simulations d'atterrissage forcé suite à une panne moteur en campagne jusqu'à 50 mètres de hauteur minimum ;
– h. planeurs et planeurs ultra légers (parapentes, deltaplanes) jusqu'au sol.

Ainsi, la carte ne permet pas à ces usagers civils d'avoir conscience de la concentration d'aéronefs militaires en TTBA dans ces secteurs et du risque d'abordage en découlant. La consultation de l'AIP leur permet uniquement d'être informés des secteurs utilisés par les hélicoptères (VOLTAC, EH, SEBA).

En conséquence, le BEA-É recommande :

à la direction des services de la navigation aérienne en coordination avec la DSAÉ d'ajouter les SETBA dans l'AIP France et d'étudier la possibilité de représenter les secteurs VOLTAC, SETBA, EH et SEBA sur la carte VFR au 1/500 000e.

R8 – [A-2021-02-A] *Destinataire : DSNA*

[32] *Aeronautical information publication* - publication d'information aéronautique.