

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

Rapport d'enquête de sécurité



T-2018-02-A

Date de l'évènement	2 février 2018
Lieu	Carcès (Var)
Type d'appareil	Gazelle SA 342 Ma
Organisme	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 française.

CRÉDITS

	A. Thomas-Trophime © DICOD	Page de garde
Figure 1	BEA-É	8
Figure 2	Géoportail/BEA-É	9
Figure 3	<i>Google Earth</i> /IWI®/BEA-É.....	10
Figure 4	Géoportail/BEA-É	16
Figure 5	BEA-É	17
Figure 6	BEA-É	22
Figure 7	BEA-É	24
Figure 8	EALAT	27
Figure 9	<i>Google Earth</i> /IWI®/BEA-É.....	33
Figure 10	EALAT	35
Figure 11	DIRCAM	35
Figure 12	DIRCAM	36
Figures 13 et 14	IWI®	38
Figure 15	IWI®	39
Figure 16	IWI®	40
Figures 17 et 18	DIRCAM	49

TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT	2
CRÉDITS	2
TABLE DES MATIÈRES	3
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 le personnel	11
1.6. Renseignements sur les aéronefs	13
1.7. Conditions météorologiques	14
1.8. Aide à la navigation	15
1.9. Télécommunications	15
1.10. Renseignements sur l'aéroport	15
1.11. Enregistreurs de bord	15
1.12. Constatations sur la zone d'impact et les aéronefs	15
1.13. Renseignements médicaux	18
1.14. Incendie	19
1.15. Organisation des secours	19
1.16. Essais et recherches	20
1.17. Renseignements sur les organismes	20
1.18. Renseignements supplémentaires	20
1.19. Techniques d'enquête	20
2. Analyse	21
2.1. Expertises techniques	21
2.2. Étude des conditions environnementales	23
2.3. Domaine relevant des facteurs organisationnels et humains	24
3. Conclusion	43
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement	43
3.2. Causes de l'évènement	43
4. Recommandations de sécurité	45
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement	45
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'évènement	46
ANNEXES	48
ANNEXE 1 ZONE RÉGLEMENTÉE LF R95 ET SECTEUR VOLTAC LE LUC	49
ANNEXE 2 EXTRAIT DU RCAM	50
ANNEXE 3 PRÉSENTATION DE L'OUTIL /WJ®	51

GLOSSAIRE

BEGL	base école général Lejay
BTP	boîte de transmission principale
CEMPN	centre d'expertise médicale du personnel navigant
COMALAT	commandement de l'aviation légère de l'armée de terre
CPO	consignes permanentes opérationnelles
DFA	division de la formation à l'aérocombat
DGA TA	direction générale de l'armement – techniques aéronautiques
DGA EP	direction générale de l'armement – essais propulseurs
DHRA	division hélicoptères de reconnaissance et d'attaque
EALAT	école de l'aviation légère de l'armée de terre
EPI	enquêteur de première information
ft	<i>feet</i> – pieds (1ft ≈ 0,30 m)
GTM	groupe turbomoteur
HRA	hélicoptère de reconnaissance et d'attaque
IRGCN	institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale
kt	<i>knots</i> – nœuds (1 kt ≈ 1,852 km/h)
MRP	moyeu rotor principal
MO	moniteur
PCB	pilote commandant de bord
PO	poste d'observation
QNH	pression atmosphérique ramenée au niveau de la mer
RCAM	règlement de la circulation aérienne militaire
RESEDA	restitution des enregistreurs de données d'accidents
RTBA	réseau très basse altitude
SDIS 83	service départemental d'incendie et de secours du Var
VOLTAC	vol tactique
VSU	visite semestrielle à l'unité
UHF	<i>ultra high frequency</i> – radio ultra haute fréquence
VHF	<i>very high frequency</i> – radio très haute fréquence

SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 2 février 2018 à 8h36

Lieu de l'évènement : lac de Carcès (Var)

Organisme : armée de terre

Commandement organique : école de l'aviation légère de l'armée de terre (EALAT)

Unité : base école général Lejay (B EGL)

Aéronefs : Gazelle SA 342 Ma F-MGEE et Gazelle SA 342 Ma F-MGEH

Nature du vol : vol d'instruction

Nombre de personnes à bord : respectivement 3 et 2

Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

À 8h28, une Gazelle décolle du Luc (83) suivie à une minute trente d'intervalle d'une autre Gazelle. Chacune doit réaliser une mission indépendante d'entraînement aux techniques d'observation à longue distance aux alentours de Carcès et de Brignoles (83).

Chaque appareil quitte individuellement le circuit d'aérodrome par le secteur des « Ubacs¹ » à une altitude d'environ 2 000 ft et poursuit vers la zone de travail à l'ouest.

Les appareils descendent ensuite en basse altitude pour rejoindre leur premier poste d'observation (PO). À 8h36 les deux appareils s'abordent à l'extrémité sud du lac de Carcès.

La Gazelle F-MGEE s'écrase sur la route départementale 24 (D24). La Gazelle F-MGEH perd son ensemble moyeu rotor principal (MRP), s'écrase dans la forêt à environ 500 mètres au nord de l'autre Gazelle puis s'embrase.

Les cinq membres d'équipage décèdent. Les deux 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'État² (BEA-É) ;
- un directeur d'enquête de sécurité adjoint (BEA-É) ;
- un expert technique (BEA-É) ;
- un enquêteur de première information (EPI) ;
- un officier pilote ayant une expertise sur Gazelle ;
- un officier mécanicien ayant une expertise sur Gazelle ;
- un sous-officier mécanicien ayant une expertise sur Gazelle ;
- 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) ;
- direction générale de l'armement – techniques aéronautiques (DGA TA) ;
- institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale (IRCGN) ;
- société *MSimulation*³.

¹ Les Ubacs : relief correspondant à un point de sortie non référencé sur la documentation aéronautique mais communément utilisé par les hélicoptères du Luc.

² Selon les termes du décret n° 2018-346 du 9 mai 2018, le nom du BEAD-air a été modifié. Le bureau s'appelle désormais Bureau Enquêtes Accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État ou BEA-É.

³ Société propriétaire de l'outil *Immersive Witness Interview - IWI*® (cf. annexe3).

PAS DE TEXTE

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Type de vol : CAM T⁴

Type de mission : instruction

Dernier point de départ : aérodrome Le Luc Le Cannet des Maures (LFMC)

Heure de départ : F-MGEE à 8h28, F-MGEH 1 minute 30 plus tard

Point d'atterrissage prévu : LFMC

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Contexte du vol

Un stage de formation pour l'obtention de la qualification de commandant de bord sur hélicoptère de reconnaissance et d'attaque (HRA) débute au Luc le 29 janvier 2018. Ce stage a pour objectif de délivrer à six pilotes stagiaires les connaissances nécessaires au commandement d'un aéronef dans le cadre de missions de reconnaissance de jour.

Le stage, d'une durée prévue de trois semaines, comprend une phase théorique, cinq séances de simulateur et six vols.

1.1.2.2. Préparation du vol

Le vol du vendredi 2 février 2018 est le premier vol d'instruction du stage. Il est précédé d'une séance de simulateur de découverte (le mardi) et d'une séance de simulateur d'entraînement aux techniques de reconnaissance lointaine (le mercredi).

Les vols sont initialement planifiés le jeudi 1^{er} février 2018 pour les six stagiaires.

Le briefing des vols est réalisé le mercredi après-midi.

Le jeudi 1^{er} février, deux équipages décollent à 8h55 et 9h00. Lorsque le premier hélicoptère arrive sur son premier PO, le moniteur constate que les conditions météorologiques ne permettent pas la réalisation de la mission et décide de faire demi-tour. Il annonce ses intentions au contrôle aérien et met le cap vers le terrain du Luc. Le deuxième hélicoptère perçoit la communication sur la fréquence et décide également de faire demi-tour.

Les vols des autres stagiaires sont annulés et reportés au lendemain pour quatre d'entre eux.

Le vendredi 2 février, les deux premiers équipages doivent décoller à 8h30 pour travailler sur l'axe A pour la Gazelle 1 (GZL 1) et l'axe C pour la Gazelle 2 (GZL 2)⁵.

Les deux aéronefs doivent commencer leur séance au sein de la zone B1 du Luc et rallier leurs premiers PO respectifs à proximité du lac de Carcès (cf. figure1).

Chaque pilote stagiaire briefe avec son moniteur le jeudi après-midi. Au cours de ce briefing, des rappels sont effectués sur les méthodes d'observation. Le choix du premier PO et la cinématique pour le rejoindre sont évoqués.

Le vendredi, les équipages se rendent au briefing des opérations à 8h00, rejoignent les hélicoptères aux alentours de 8h15 et procèdent aux vérifications avant décollage.

⁴ Circulation aérienne militaire tactique.

⁵ La Gazelle 1 est immatriculée F-MGEE et la Gazelle 2 F-MGEH.

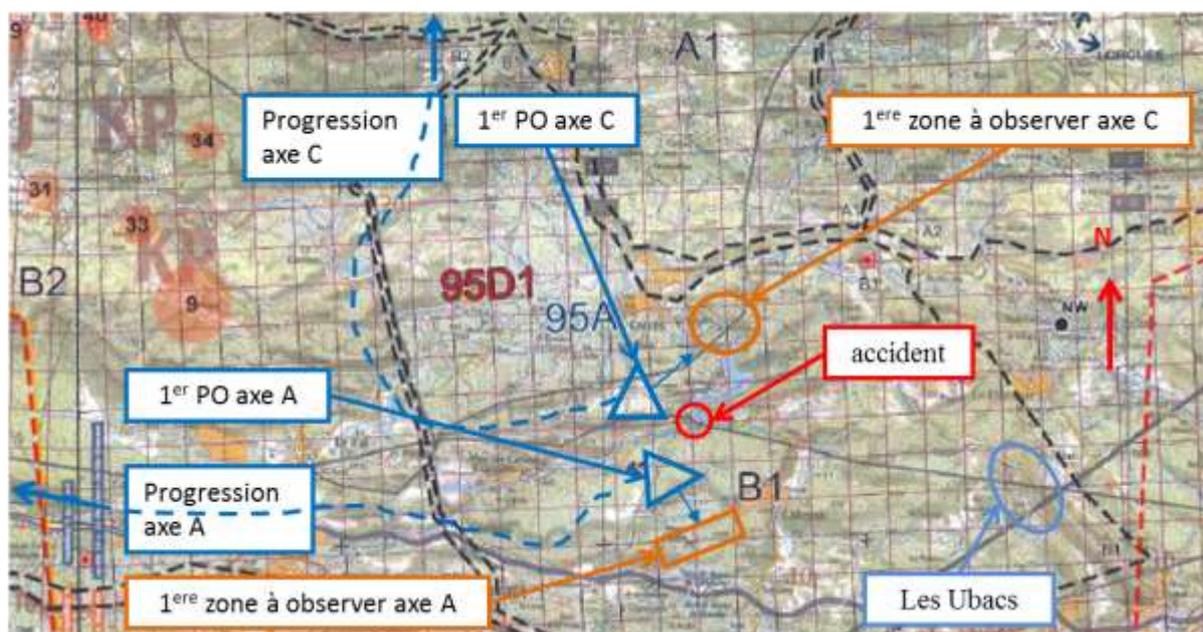


Figure 1 : premiers postes d'observation et directions de progression des axes

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

La GZL 1 met en route et s'aligne en piste 31. Elle est alors informée par la tour de problèmes sur sa radio. L'équipage prend quelques instants pour y remédier puis décolle.

La GZL 2 met en route et décolle à son tour.

L'écoute des échanges radio enregistrés par la tour de contrôle montre que les deux décollages sont séparés d'environ une minute et trente secondes.

Les deux appareils se dirigent vers leur zone de travail en passant par « les Ubacs » à une altitude de 2 000 ft.

Les données radar permettent de suivre les appareils jusqu'à 8h35'24'' pour la GZL 1 et 8h35'00'' pour la GZL 2. De 8h36'01'' à 8h36'22'' le passage de la GZL 1 est enregistré par une caméra de surveillance située à proximité du lieu de l'accident.

Quelques secondes après le passage dans le champ de la caméra, les deux Gazelle s'abordent.

La GZL 1 est gravement endommagée à l'avant. Elle s'écrase sur la D24.

La GZL 2 perd son ensemble rotor⁶. Elle s'écrase dans la forêt à proximité de la route dite du Village du Lac puis s'embrase.

⁶ Ensemble rotor : ici moyeu rotor principal (MRP) et boîte de transmission principale (BTP).

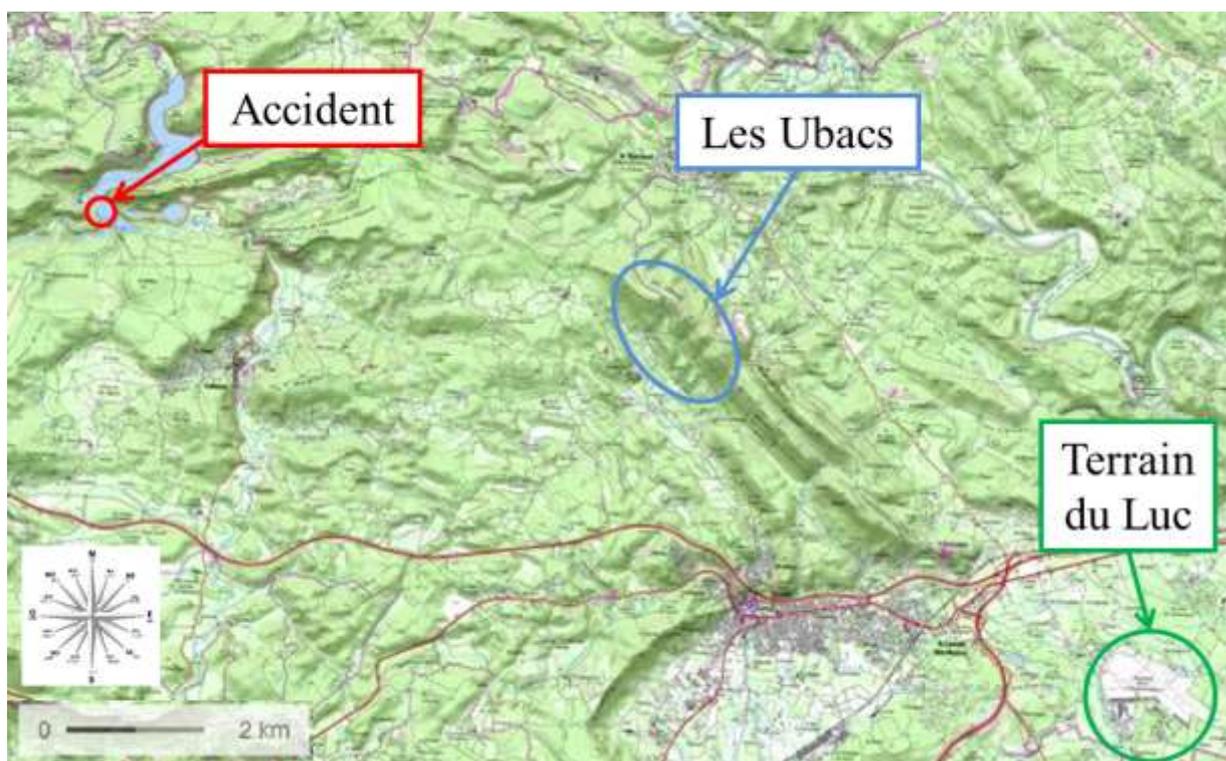


Figure 2 : localisation de l'accident

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

Les trajectoires des appareils ont été reconstituées à l'aide du logiciel *Immersive Witness Interview IWI*[®] en compilant les informations issues de deux radars, de témoignages visuels et de l'enregistrement de la caméra de surveillance située à proximité du lac de Carcès.

Les figures ci-après présentent chaque trajectoire, avec le tunnel d'incertitude associé. Ce tunnel d'incertitude tient compte de la fiabilité des différentes observations (radar, caméra de surveillance, témoignages). Il représente la zone de présence la plus probable de l'hélicoptère considéré en tenant compte également de ses capacités d'évolution liées à ses performances.

La GZL 1 (trajectoire verte) décollant une minute et trente secondes avant la GZL 2 (trajectoire bleue), sa position est plus à l'ouest que celle de la GZL 2 pendant les deux premiers tiers de la durée du vol, y compris pendant les croisements apparents des deux trajectoires observables dans la figure 3.

Au point de croisement des trajectoires à l'ouest des Ubacs sur la figure 3, la GZL 1 est passée une minute et trente secondes avant la GZL 2.



Figure 3 : reconstitution des trajectoires des Gazelle

1.1.3. Localisation

– Lieu :

- pays : France
- département : Var
- commune : Carcès
- coordonnées géographiques : N 43°26'44"/E 006°11'48"
- hauteur du lieu de l'évènement : environ 90 mètres/sol

– Moment : jour

– Aéroport le plus proche au moment de l'évènement : LFMC

1.2. Dommages corporels

Les cinq membres d'équipage sont décédés.

1.3. Dommages aux aéronefs

Les deux hélicoptères sont détruits.

1.4. Autres dommages

Des arbres sont brûlés à proximité de l'épave de la GZL 2.

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. GZL 1

L'équipage est constitué d'un pilote commandant de bord (PCB) en place avant droite, d'un stagiaire en place avant gauche et d'un moniteur (MO) en place arrière droite.

1.5.1.1. Pilote commandant de bord (PCB)

- Âge : 44 ans
- Unité d'affectation : EALAT/BEGL/division de la formation à l'aérocombat (DFA)
- Formation :
 - qualification : moniteur depuis 2013/chef de patrouille depuis 2002
 - école de spécialisation : EALAT
 - année de sortie d'école : 1996
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Gazelle	sur tout type	dont Gazelle	sur tout type	dont Gazelle
Total (h)	2 500	2 455	25	25	3	3

Date du vol précédent comme pilote : 30 janvier 2018 sur Gazelle.

1.5.1.2. Stagiaire

- Âge : 29 ans
- Formation :
 - qualification : pilote depuis 2010
 - école de spécialisation : EALAT
 - année de sortie d'école : 2010
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Gazelle	sur tout type	dont Gazelle	sur tout type	dont Gazelle
Total (h)	1 340	1 340	63	63	8	8

Date du vol précédent comme pilote : 24 janvier 2018 sur Gazelle.

1.5.1.3. Moniteur (MO)

- Âge : 52 ans
- Unité d'affectation : EALAT/BEGL/DFA/division des hélicoptères de reconnaissance et d'attaque (DHRA)
- Formation :
 - qualification : moniteur depuis 2000/chef de patrouille hélicoptère reconnaissance et d'attaque (HRA) depuis 2001
 - école de spécialisation : EALAT
 - année de sortie d'école : 1986
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Gazelle	sur tout type	dont Gazelle	sur tout type	dont Gazelle
Total (h)	5 400	5 345	70	70	5	5

Date du vol précédent comme pilote : 1^{er} février 2018 sur Gazelle.

1.5.2. GZL 2

L'équipage est constitué d'un moniteur en place avant droite et d'un stagiaire en place avant gauche. Le moniteur est également commandant de bord.

1.5.2.1. Moniteur (MO)

- Âge : 35 ans
- Unité d'affectation : EALAT/BEGL/DFA/DHRA
- Formation :
 - qualification : moniteur depuis 2012/chef de patrouille HRA depuis 2017
 - école de spécialisation : EALAT
 - année de sortie d'école : 2003
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Gazelle	sur tout type	dont Gazelle	sur tout type	dont Gazelle
Total (h)	3 064	3 064	28	28	2	2

Date du vol précédent comme pilote : 24 janvier 2018 sur Gazelle.

1.5.2.2. Stagiaire

- Âge : 30 ans
- Formation :
 - qualification : pilote depuis 2011
 - 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 Gazelle	sur tout type	dont Gazelle	sur tout type	dont Gazelle
Total (h)	1 150	1 046	83	83	8	8

Date du vol précédent comme pilote : 24 janvier 2018 sur Gazelle.

1.6. Renseignements sur les aéronefs

- Organisme : armée de terre
- Commandement organique d'appartenance : COMALAT
- Base aérienne de stationnement : BEGL
- Unité d'affectation : EALAT/BEGL/EMA⁷
- Type d'aéronef : Gazelle SA 342 Ma
- Caractéristiques :

		Type-série	Immatriculation	Heures de vol totales	Heures de vol depuis	Heures de vol depuis
GZL 1	Cellule	SA 342 Ma	4209/F-MGEE	5 938	EMJ ⁸ : 2 792	VP ⁹ : 20
	Moteur	Astazou XIV M	8096/7096	5 208	RG ¹⁰ : 1 309	VP : 119
GZL 2	Cellule	SA 342 Ma	4212/F-MGEH	6 041	EMJ : 2 927	VP : 16
	Moteur	Astazou XIV M	8037/7037	4 740	RG : 2 241	VP : 338

1.6.1. Maintenance

L'examen de la documentation technique des deux aéronefs témoigne d'un entretien conforme au programme de maintenance en vigueur.

1.6.2. Performances

Les appareils font l'objet des autorisations d'écart suivantes :

- GZL 1 : les capots du groupe turbomoteur (GTM) sont déposés depuis le 24 janvier 2018. Le MAT¹¹ 8719 Manuel de vol SA 342 Ma, chapitre 2.2 autorise le vol dans ces conditions ;

⁷ EMA : escadrille des moyens aériens.

⁸ EMJ : entretien majeur.

⁹ VP : visite périodique.

¹⁰ RG : révision générale.

¹¹ MAT : manuel de l'armée de terre.

- GZL 2 : indicateur réservoir supplémentaire hors service depuis le 11 octobre 2017. La liste de tolérances techniques et d'exploitation (LTTE) autorise le vol dans ces conditions. Ces écarts n'altèrent pas les performances de vol des aéronefs concernés.

1.6.3. Masse et centrage

	F-MGEE/GZL 1	F-MGEH/GZL 2
Masse maximale au décollage	2 100 kg	2 100 kg
Masse au décollage	1 860 kg	1 760 kg
Masse estimée au moment de l'accident	1 840 kg	1 740 kg
Centrage	dans les normes	dans les normes

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F-34
- Quantité de carburant au décollage :
 - GZL 1 : 420 litres
 - GZL 2 : 430 litres
- Quantité de carburant restant au moment de l'évènement :
 - GZL 1 : 395 litres
 - GZL 2 : 405 litres

1.6.5. Autres fluides

- Huile ensembles tournants : O-155
- Huile hydraulique : H-515
- Huile turbine : O-150

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

Les conditions prévues pour le vol sont les suivantes : vent faible de secteur sud-ouest, QNH¹² 1 003 hPa, ciel légèrement voilé par des nuages de haute altitude.

1.7.2. Observations

Les conditions observées au Luc au moment de l'accident sont les suivantes : vent du secteur ouest pour 5 kt, QNH 1 003 hPa, visibilité supérieure à 10 kilomètres, température 1°C, point de rosée -1.7°C.

Les observations sur le lieu de l'accident rapportées par les témoins au sol, les équipages des hélicoptères de secours et les caméras de vidéosurveillance sont conformes. Aucun phénomène de brume ou de brouillard n'a été constaté.

Le soleil est levé depuis 7h50. Il est dans l'azimut 121° pour une élévation de 7°.

¹² QNH : code international qui désigne la pression atmosphérique (en hPa) rapportée au niveau de la mer selon les conditions de l'atmosphère standard.

1.8. Aide à la navigation

Les équipages évoluent en vol à vue. En effet, le but du stage est d'apprendre aux stagiaires commandant de bord à s'orienter et à diriger leur pilote à partir d'une carte de navigation.

1.9. Télécommunications

Les Gazelle sont équipées des moyens de communication suivants :

- un émetteur/récepteur VHF¹³/MA type E/R 210 C (TRAP 138 A) ;
- un émetteur/récepteur VHF/FM type E/R 323 B programme radio de quatrième génération (PR4G) ;
- un émetteur/récepteur V/UHF¹⁴ type E/R 359 A (TRA 6031 C11).

1.10. Renseignements sur l'aéroport

L'armée de terre est affectataire principal du terrain du Luc - Le Cannet des Maures. La base école général Lejay y est implantée. L'activité principale de la plateforme est de type école de pilotage pour hélicoptères, réservée aux appareils basés.

La plateforme est gestionnaire de la zone règlementée LF-R95 (cf. annexe 1) pour mener ses missions. Cette zone règlementée est subdivisée en 18 zones de travail.

1.11. Enregistreurs de bord

Les deux Gazelle ne sont équipées d'aucun enregistreur de bord.

1.12. Constatations sur la zone d'impact et les aéronefs

1.12.1. Examen de la zone d'impact

Le lac de Carcès est alimenté à son extrémité sud par les rivières Issole et Caramy à l'entrée d'un thalweg orienté nord-sud. Une ligne électrique d'orientation est-ouest rejoint la zone des « Ubacs » et la rive sud du lac de Carcès.

¹³ VHF : *very high frequency*, très haute fréquence.

¹⁴ UHF : *ultra high frequency*, ultra haute fréquence.

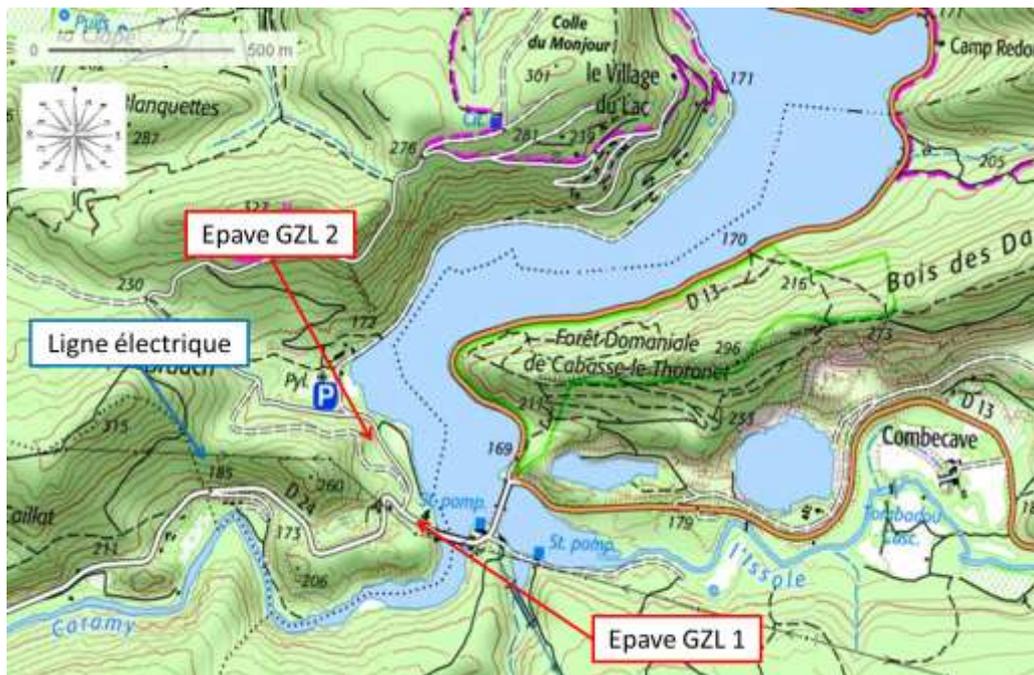


Figure 4 : localisation des épaves

Les épaves des deux hélicoptères, distantes d'environ 500 mètres, sont situées sur la route D24 (GZL 1) et dans la forêt proche de la berge ouest du lac, à flanc de colline (GZL 2).

L'ensemble MRP/BTP de la GZL 2 repose séparé de la cellule, à une distance de 50 mètres. Des débris des deux aéronefs sont retrouvés sur la berge ainsi que dans le lac à proximité de la berge.



Figure 5 : localisation des épaves et zone de répartition des débris

1.12.2. Examen des aéronefs

La cellule de la GZL 1 est positionnée sur la D24. L'ensemble propulsif est encore attaché à la cellule. Les pales sont endommagées. La balise de détresse est à proximité de la cellule ; elle émet un signal audible.

L'ensemble MRP/BTP de la GZL 2 est retrouvé à 50 mètres de sa cellule. L'incendie qui s'est déclaré immédiatement après l'impact a détruit la majorité de la cellule. La balise de détresse retrouvée à proximité de la cellule émet un signal audible.

Aucune des deux balises n'a été perçue par le système COSPAS-SARSAT¹⁵ ni par les aéronefs évoluant à proximité.

1.13. Renseignements médicaux

1.13.1. GZL 1

1.13.1.1. Pilote commandant de bord

- Dernier examen médical¹⁶ :
 - type : visite semestrielle en unité (VSU) (référence centre d'expertise médicale du personnel navigant (CEMPN) du 18 novembre 2016, valide 24 mois)
 - date : 15 novembre 2017
 - résultat : apte 6 mois
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : mortelles

1.13.1.2. Stagiaire

- Dernier examen médical :
 - type : CEMPN
 - date : 28 novembre 2017
 - résultat : apte 24 mois
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : mortelles

1.13.1.3. Moniteur

- Dernier examen médical :
 - type : VSU (référence CEMPN du 31 mai 2017, valide 12 mois)
 - date : 28 novembre 2017
 - résultat : apte 6 mois
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : mortelles

¹⁵ COSPAS-SARSAT : système satellite international pour la recherche et le sauvetage.

¹⁶ Selon instruction n° 3300/DEF/EMAT/OAT/BEMP du 8 octobre 2014 relative à l'aptitude médicale des spécialistes navigants et non navigants liés à la mise en œuvre des aéronefs habités et non habités de l'armée de terre.

1.13.2. GZL 2

1.13.2.1. Moniteur

- Dernier examen médical :
 - type : VSU (référence CEMPN du 19 octobre 2016, valide 24 mois)
 - date : 25 octobre 2017
 - résultat : apte 6 mois
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : mortelles

1.13.2.2. Stagiaire

- Dernier examen médical :
 - type : CEMPN
 - date : 19 septembre 2017
 - résultat : apte 25 mois
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : mortelles

1.14. Incendie

La GZL 2 a pris feu après l'impact. L'incendie a été maîtrisé par les secours.

1.15. Organisation des secours

À 8h37 les premiers témoins visuels alertent le service départemental d'incendie et de secours du Var (SDIS 83) qui se rend sur place avec des véhicules d'intervention contre l'incendie et des véhicules de secours aux personnes.

À 8h47 le SDIS 83 prévient la tour de contrôle du Luc qu'un accident d'hélicoptère a été signalé à proximité du lac de Carcès.

Les premiers secours arrivent sur les lieux à 8h49.

À 8h50 un hélicoptère Caïman de la BEGL est dérouté vers le lieu de l'accident pour participer aux recherches. Parallèlement, le contrôle aérien tente de reprendre le contact avec les deux Gazelle.

En arrivant sur place, l'équipage du Caïman signale aux secours que deux hélicoptères sont impliqués et qu'un incendie s'est déclaré. Les pompiers se rendent sur les lieux de la deuxième épave afin de maîtriser l'incendie.

À 9h10 le Caïman signale à la tour de contrôle qu'il observe deux zones de débris, espacées de 500 mètres à proximité du lac.

À 9h22 le Caïman informe la tour que les deux appareils accidentés sont des Gazelle.

À 9h45 le convoi de secours de la BEGL, constitué de trois véhicules de la SSIS¹⁷ et d'une ambulance, arrive sur les lieux.

Aucun signal de balise de détresse n'est perçu par les appareils à proximité ni par le centre de coordination de sauvetage.

¹⁷ Section sécurité incendie et sauvetage.

1.16. Essais et recherches

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

L'exploitation de l'enregistrement d'un dispositif de vidéo surveillance à proximité du lieu de l'accident, de GPS et des traces radar est confiée à RESEDA.

L'expertise des balises de détresse est confiée à DGA TA.

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

1.17. Renseignements sur les organismes

La BEGL est l'une des deux bases de l'EALAT. Co-localisée avec deux centres de formation et située sur l'emprise du Cannel des Maures, sa mission est de parachever la formation initiale des pilotes d'hélicoptères dispensée à Dax en enseignant les savoir-faire de l'aérocombat dans un cadre interarmes, interarmées, interalliés et international.

Au sein de la BEGL, la direction de la formation à l'aérocombat (DFA) est constituée des divisions suivantes :

- la division de formation des officiers ;
- la division hélicoptères de reconnaissance et d'attaque (DHRA) ;
- la division hélicoptères de manœuvre et d'assaut ;
- la division simulation.

La DHRA a pour mission de former dans les domaines technique et tactique les chefs militaires et les spécialistes des équipages Gazelle dont les forces ont besoin.

1.18. Renseignements supplémentaires

Le bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA) a réalisé une étude sur les abordages survenus au-dessus du territoire français entre 1989 et 1999¹⁸.

Pour la période considérée 17 abordages ont été dénombrés.

Cette étude permet d'éclaircir certains points de l'analyse qui suit. Elle est disponible en ligne sur le site du BEA à l'adresse suivante :

https://www.bea.aero/uploads/tx_scalaetudessecurite/abordages_01.pdf

1.19. Techniques d'enquête

En l'absence d'enregistreur de paramètres, la reconstitution de la trajectoire des deux appareils a été réalisée à partir des éléments issus de deux radars, d'une caméra de surveillance et de témoignages visuels depuis le sol. La synthèse de ces éléments a été réalisée par la société *MSimulation* à l'aide de l'outil *IWI*[®]. Ce logiciel permet de synthétiser les éléments provenant des différentes sources disponibles afin d'élaborer la trajectoire estimée en tenant compte également des capacités d'évolution des aéronefs liées à leurs performances.

¹⁸ Les abordages lors de vol en patrouille ou en présentation sont exclus du champ de cette étude car les pilotes ont alors connaissance de la position des autres avions.

2. ANALYSE

L'analyse qui suit est structurée en trois parties. La première présente les résultats des expertises techniques. La deuxième identifie les causes de l'évènement relevant du domaine environnemental. La dernière identifie les causes de l'évènement relevant du domaine des facteurs organisationnels et humains.

2.1. Expertises techniques

2.1.1. Les groupes turbomoteurs (GTM)

L'expertise des GTM a été réalisée par DGA EP en présence d'experts de *Safran Helicopter Engines*. Aucun indice d'endommagement préalable à l'abordage n'a été constaté. Les deux GTM présentent des signes de rotation à l'impact, sans qu'il soit possible d'en caractériser la vitesse. L'ouverture de la vanne de décharge du GTM de la GZL 1 indique qu'il était en phase de décélération.

Les expertises techniques n'ont révélé aucun indice d'endommagement des GTM avant l'abordage.

2.1.2. Examen des cellules

2.1.2.1. Avionique

Boîtiers de sélection radio

Le boîtier du poste radio VHF de la GZL 1 indique que la fréquence 123.000 Mhz était affichée au moment de l'accident. Celui de la GZL 2 incendiée a fait l'objet d'une expertise par DGA TA. La comparaison avec un boîtier similaire à l'état neuf a permis d'établir que la fréquence 141.550 Mhz était affichée au moment de l'accident.

Le sélecteur VHF de la GZL 1 est calé sur la fréquence 123.000 Mhz ; celui de la GZL 2 est calé sur 141.550 Mhz.

Radioaltimètres

Le radioaltimètre monté sur les Gazelle a pour propriété de maintenir fixe l'indication en cas de perte de son alimentation électrique. Ainsi les valeurs relevées sur les radioaltimètres retrouvés sont caractéristiques de la hauteur de vol à laquelle l'alimentation de chacun d'eux a été perdue.

Le radioaltimètre de la GZL 1 est figé sur 85 mètres, celui de la GZL 2 sur 93 mètres. Ces valeurs correspondent à la hauteur indiquée à laquelle l'alimentation électrique a été perdue à la suite de l'abordage.

Transpondeurs

L'observation des enregistrements radar indique que les transpondeurs des deux appareils n'étaient pas en fonctionnement au cours du vol.

2.1.2.2. Commandes de vol

Les expertises techniques n'ont révélé aucun indice d'endommagement des commandes de vol avant l'abordage.

2.1.2.3. Structures et pales

La reconstitution partielle de l'épave de la GZL 1 et l'examen des pales de la GZL 2 permettent d'estimer une position relative des deux hélicoptères au moment du contact.

Les pales de la GZL 2 ont percuté l'avant de la GZL 1 au niveau du montant principal comme indiqué en figure 6 ; la GZL 2 est légèrement en dessous de la GZL 1, sur sa gauche, avec un angle d'environ 120°.

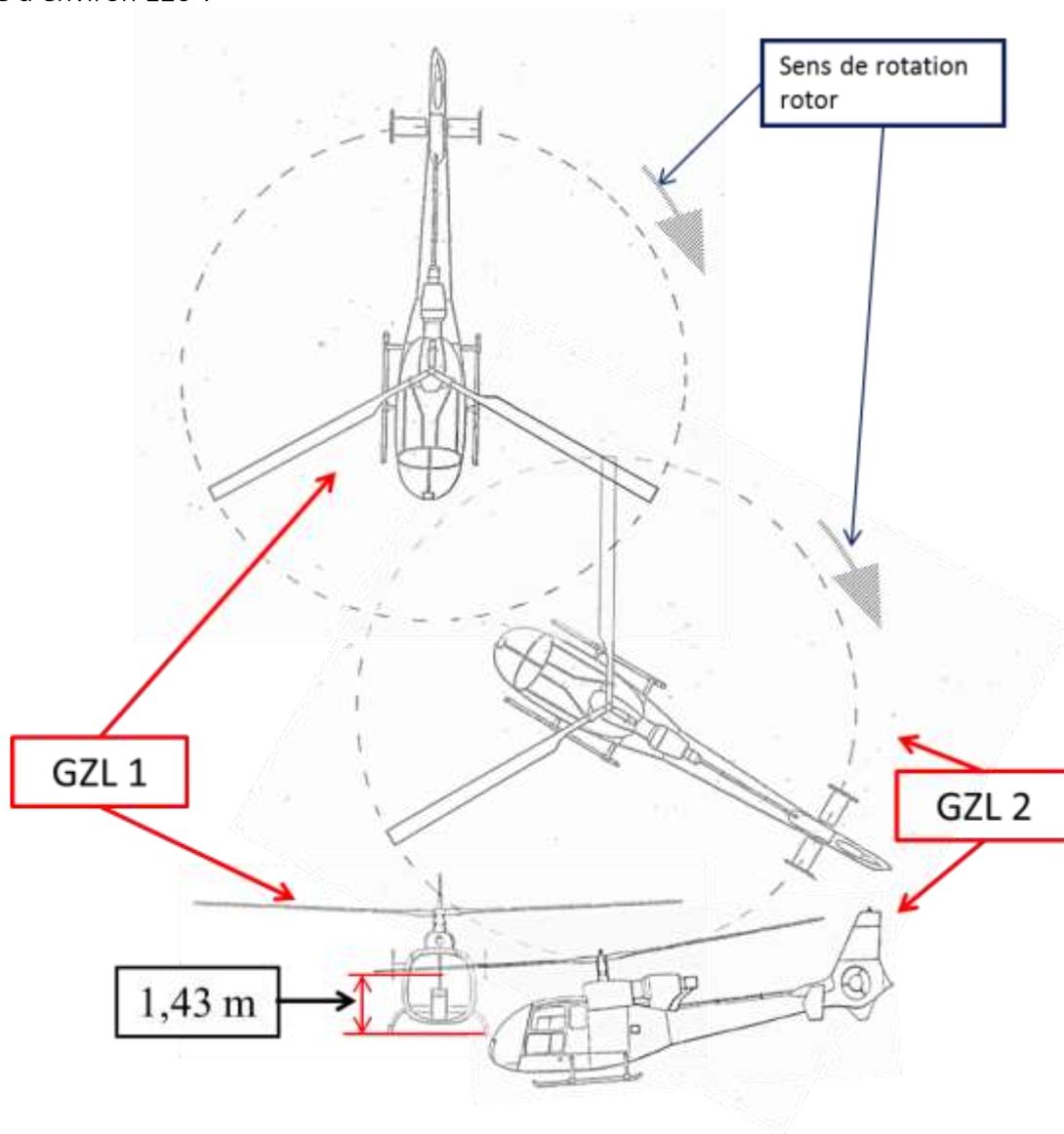


Figure 6 : positions relatives des deux appareils lors de l'abordage

Le contact des pales de la GZL 2 avec la cellule de la GZL 1 a eu les conséquences suivantes.

Pour la GZL 1 :

- rupture du montant principal ;
- destruction de la planche de bord ;
- perte d'une partie de l'alimentation électrique, dont celle de la radio sonde ;
- début d'extinction du GTM.

Pour la GZL 2 :

- l'impact du rotor a provoqué la désolidarisation de l'ensemble MRP/BTP, qui est retrouvé au sol à environ 50 mètres de la cellule.

Après l'abordage, les endommagements subis par les deux appareils ne permettent pas de poursuivre le vol ni d'entreprendre un atterrissage d'urgence.

2.1.3. Synthèse des expertises techniques

Les expertises techniques réalisées sur les épaves des appareils indiquent :

- qu'aucun endommagement préalable à l'abordage des deux Gazelle n'est identifié ;
- qu'au moment de l'abordage, les fréquences affichées sur les boîtiers VHF des deux appareils sont différentes ;
- que l'abordage a lieu avec un angle relatif entre les deux appareils d'environ 120°, à une hauteur de l'ordre de 90 mètres ;
- que les conséquences de l'abordage ne permettent pas la poursuite du vol, ni la réalisation d'un atterrissage d'urgence.

2.2. Étude des conditions environnementales

La zone géographique de l'accident est caractérisée par le croisement de deux thalwegs, orientés nord-sud et est-ouest. Ce croisement constitue l'extrémité d'un lac de retenue dont les berges sont recouvertes par une flore de type méditerranéen. À cette période de l'année, la végétation présente une couleur verte assez proche des teintes de la livrée¹⁹ des Gazelle.

À l'heure de l'accident, le soleil est observé dans l'azimut 120° pour une élévation de 7° au-dessus de l'horizon, assez proche des lignes de crête. Le ciel est clair, bien que légèrement voilé par des nuages de haute altitude de type cirrus. Il n'y a pas de phénomène de basse couche (brume ou brouillard) sur le lieu de l'accident.

Les quatre photographies suivantes, réalisées lors d'un vol de reconstitution à proximité du relief à l'est du lac de Carcès, témoignent des conditions environnementales pour les deux trajectoires respectives, au nord du relief pour la GZL 1 (photographies 1 et 2) et au sud du relief pour la GZL 2 (photographies 3 et 4). Les axes de prise de vue correspondent à ceux choisis par le photographe, mais ne rendent pas compte exactement des trajectoires ni de ce qu'observaient les pilotes.

¹⁹ La livrée d'un aéronef est l'ensemble des motifs portés extérieurement et permettant de l'identifier visuellement ou de le camoufler.



Figure 7 : caractéristiques visuelles de l'environnement

La livrée camouflée des Gazelle rend ces hélicoptères difficilement détectables lorsque l'arrière-plan est végétal.
Le soleil peut être source de forte gêne visuelle, voire d'aveuglement.

2.3. Domaine relevant des facteurs organisationnels et humains

2.3.1. Nature du vol

Chacun des vols est une mission d'instruction au profit d'un pilote en stage de formation pour l'obtention de la qualification de commandant de bord sur hélicoptère de reconnaissance et d'attaque (HRA).

L'objectif est de faire restituer aux stagiaires les procédés de l'observation lointaine à partir d'une position statique ainsi qu'en vol dynamique dans le cadre d'une reconnaissance d'axe. En situation réelle, ce type de mission se réalise généralement en patrouille ; le chef de patrouille oriente ses commandants de bord en fonction des renseignements fournis lors des observations.

Pour les besoins de l'instruction, au sein de chaque hélicoptère, le moniteur simule une patrouille en agissant comme un chef de patrouille donnant des ordres à son équipier. Pour ce faire, il utilise la fréquence UHF en interne pour communiquer avec le stagiaire qui joue le rôle de l'équipier.

L'exercice est prévu pour durer une heure et demie.

La difficulté des vols croît au fil du stage. Pour chacun des stagiaires, ce vol-ci est le premier de la série de six. Il est donc considéré comme relativement « simple » par les moniteurs.

Initialement prévu la veille, il a été reporté à cause de conditions météorologiques défavorables. Les stagiaires en vol le vendredi matin n'ont pas volé la veille. Un des moniteurs était en vol le jeudi. La désignation des équipages pour les vols du vendredi matin a lieu le jeudi après-midi ; les pilotes stagiaires ont ainsi le temps de préparer leur vol. La préparation du vol consiste à déterminer le premier poste d'observation en fonction d'une première zone à observer et de la direction de progression de l'ennemi. Il s'agit ensuite d'étudier la carte afin de déterminer un itinéraire pour rejoindre ce point.

Ce vol a été précédé de deux séances au simulateur : une séance de découverte (le mardi) et une séance d'entraînement aux techniques de reconnaissance lointaine (le mercredi). Le type d'exercice réalisé au simulateur correspond à celui pratiqué en vol ce jour. L'objectif du simulateur est de pratiquer la phraséologie utilisée sur la fréquence UHF qui simule le travail inter-patrouille.

Le vol constitue la première mission d'instruction du stage de formation pour l'obtention de la qualification commandant de bord HRA.

Le stage est organisé autour d'exercices de difficulté croissante. Ce premier vol ne présente pas de difficulté technique particulière pour des pilotes stagiaires déjà qualifiés pilotes opérationnels. Il est perçu comme ne présentant aucun risque inhabituel.

2.3.2. Attribution des zones de travail

Les besoins de formation de l'aviation légère de l'armée de terre génèrent un flux de stagiaires permanent pour ce type de stage. Ainsi, alors que le stage précédent avait pris une semaine de retard et se poursuivait cette semaine-là, le suivant avait déjà débuté. L'attribution des zones du Luc est optimisée pour offrir à chaque division la possibilité de réaliser ses missions tout en minimisant le temps de vol consacré aux transits. Le catalogue d'exercices de la DHRA offre ainsi la possibilité de pratiquer deux exercices situés dans les mêmes zones de travail tout en évoluant sur deux axes distincts l'un de l'autre (deux postes d'observation initiaux différents et deux axes de progression divergents).

Cette situation n'est pas exceptionnelle, différents exercices prévoyant le travail de plusieurs hélicoptères indépendants dans la même zone.

Les consignes permanentes opérationnelles (CPO) de la BEGL précisent les conditions dans lesquelles doivent se dérouler les vols de nuit avec plusieurs appareils dans la même zone (fréquence commune, désignation d'un leader, coordination validée par le directeur des vols). En revanche, les consignes ne sont pas aussi détaillées pour les vols de jour. La fiche d'exercice de la DHRA prévoit une fréquence de sécurité entre les hélicoptères sans toutefois en préciser l'emploi.

Les contraintes du stage et des zones de travail autour du Luc en Provence conduisent à faire évoluer plusieurs hélicoptères indépendants dans une même zone de travail.

Les CPO ne définissent pas précisément les modalités de coordination pour les missions de jour.

2.3.3. Composition des équipages

L'équipage de la GZL 1 est constitué de trois personnes :

- un pilote commandant de bord (PCB) revêtant pour l'instruction le rôle du pilote en fonction (en place avant droite) ;
- un pilote stagiaire, revêtant pour l'instruction le rôle de commandant de bord (en place avant gauche) ;
- un moniteur pour animer l'exercice (en place arrière droite).

Le PCB est l'adjoint du directeur de la formation de l'EALAT. Il effectue régulièrement des vols au profit de la DHRA au sein de laquelle il était affecté auparavant. Dans le cadre de cet exercice, la présence d'un PCB permet au moniteur de ne pas cumuler les tâches de pilote en fonction et celles de moniteur. Il totalise 2 500 heures de vol dont 2 455 heures sur Gazelle. Dans le cadre de sa précédente affectation (DHRA), il a déjà réalisé à plusieurs reprises cet exercice en tant que moniteur.

Le pilote stagiaire est un pilote affecté en régiment, qualifié pilote opérationnel depuis 2010. Toute son expérience aéronautique a été acquise sur Gazelle ; il totalise 1 340 heures de vol.

Le moniteur, animateur de l'exercice, qualifié depuis près de 8 ans, est le chef de la brigade tactique de la DHRA. Il totalise 5 400 heures de vol dont 5 345 heures sur Gazelle. Il est affecté dans l'unité en tant que moniteur depuis 6 ans. Il connaît parfaitement cet exercice qu'il réalise à plusieurs reprises chaque année.

L'équipage de la GZL 2 est constitué de deux personnes :

- un moniteur, commandant de bord de l'appareil revêtant pour l'instruction le rôle du pilote en fonction et animant l'exercice (en place avant droite) ;
- le pilote stagiaire, revêtant pour l'instruction le rôle de commandant de bord (en place avant gauche).

Le commandant de bord de l'appareil est affecté à la DHRA depuis juillet 2012. Il est qualifié moniteur depuis près de 6 ans. Il totalise 3 064 heures de vol, toutes sur Gazelle. Il connaît parfaitement cet exercice qu'il réalise à plusieurs reprises chaque année. Cependant, son activité récente sur Gazelle est assez faible (2 heures dans les trente derniers jours).

Le pilote stagiaire est un pilote affecté en régiment et qualifié pilote opérationnel. Il totalise 1 150 heures de vol dont 1 046 heures sur Gazelle.

L'équipage d'une mission d'instruction d'un futur commandant de bord constitue un équipage particulier au sein duquel s'instaure un jeu de rôle. Dans l'aéronef sont ainsi présents :

- un pilote opérationnel qui apprend le métier de commandant de bord et revêt ce rôle dans le cadre de la séance d'instruction ;
- un moniteur, commandant de bord en titre, mais qui assure le rôle de pilote en fonction lors de l'exercice.

Les équipages sont composés de deux ou trois personnes en fonction des ressources (le troisième membre d'équipage doit être pilote de Gazelle et avoir une connaissance des missions d'instruction de la DHRA) et des choix des moniteurs.

Pour garantir un niveau de sécurité élevé, ces configurations d'équipage typiques des vols d'instruction²⁰ nécessitent une répartition claire des rôles et des tâches de chacun, ainsi qu'une définition précise des limites de l'exercice. Dans le cas contraire le jeu de rôle imposé

²⁰ Parmi les 17 cas d'abordages répertoriés par le BEA (cf. §1.18), 9 cas étaient des vols d'instruction avec moniteur à bord.

par la mission d'instruction d'un futur commandant de bord peut conduire à une confusion concernant les responsabilités de chacun.

L'analyse documentaire et les entretiens menés ont montré que pour la phase de cheminement vers les premiers PO, cette répartition des rôles et des tâches des membres d'équipage visant à assurer la surveillance du ciel n'était ni formalisée au sein de procédures standardisées, ni généralement clairement explicitée.

De plus, alors que l'exercice est décrit avec précision à partir du premier PO, la phase de mise en place vers ce premier point peut être réalisée avec ou sans thème tactique. Cette souplesse dans cette phase permet aux moniteurs d'adapter la mission aux impératifs du moment (niveau estimé du stagiaire, météo, encombrement de la zone...).

Les équipages ont une expérience aéronautique significative et tout à fait adaptée à la difficulté de l'exercice. Les deux stagiaires sont qualifiés « pilote opérationnel ».

L'équipage d'un aéronef réalisant une mission d'instruction constitue un équipage particulier du point de vue de sa composition. Ce type d'équipage nécessite une attention particulière dans la définition des rôles de chacun tout au long de l'exercice.

L'évènement a lieu lors de la phase de cheminement vers les premiers PO. Les tâches et les rôles attendus de chaque membre d'équipage lors de cette phase de vol initiale ne sont pas prescrits précisément.

2.3.4. Prise en compte du risque d'abordage dans la construction de l'exercice

Ce vol d'instruction est décrit dans trois documents : une fiche d'exercice, une fiche pédagogique, ainsi qu'une carte où sont représentées les informations importantes pour l'animation des différentes phases du vol. Ces documents sont à la disposition des moniteurs. Ils ne sont pas communiqués aux stagiaires. Ces fiches prescrivent notamment les animations à réaliser par les moniteurs, les objectifs de chaque exercice lors du vol, ainsi que ce qui est attendu du stagiaire et ce qui doit être évalué lors de la séance.

Quelques conseils de sécurité sont également précisés à l'attention des moniteurs sous la forme suivante :

Sécurité :

- * Vérification des zones interdites de survol + danger lignes et obstacles avant décollage.
- * Assister au briefing quotidien des opérations (BIA²¹, météorologie).
- * Avoir une fréquence sécurité interne avec les autres instructeurs réalisant cet exercice.

Figure 8 : extrait de la fiche de séance

²¹ Bureau d'information aéronautique.

Certains points fondamentaux susceptibles de prévenir les risques d'abordage sont néanmoins absents de cette fiche :

- délai minimal entre les deux décollages d'aéronefs. Il n'est pas mentionné d'espacement temporel minimum entre les deux hélicoptères lors de la phase de cheminement vers les premiers PO ;
- trajectoire prédéfinie pour la phase de cheminement vers les premiers PO avec un objectif pédagogique ou une séparation d'axe afin de réduire le risque de trajectoire conflictuelle ;
- repères susceptibles de séparer les deux trajectoires (ligne, axe routier, thalweg...);
- procédure précise de coordination et de communication entre les équipages prenant en compte le risque lié à la présence de plusieurs aéronefs dans la même zone (point de changement de fréquence, points de report, etc.).

Lors de cette séance d'instruction, il est prévu qu'après la phase de cheminement vers les premiers PO les deux hélicoptères volent simultanément dans la même zone de travail, mais indépendamment sur deux axes différents et divergents. Cette situation nécessite une évaluation et une gestion du risque d'abordage, notamment pour la phase de cheminement vers les premiers PO distants l'un de l'autre de 1 500 mètres. Or, les CPO et la fiche d'exercice de cette séance d'instruction ne détaillent pas suffisamment la coordination des deux aéronefs et les procédures d'évitement d'un abordage en vol.

La coordination et les mesures de prévention des abordages en vol ne sont pas suffisamment détaillées dans les principales ressources à disposition des équipages (CPO, fiches d'exercice). La séance d'instruction est exclusivement décrite pour un aéronef isolé. L'absence d'anticipation du risque d'abordage en vol dans les consignes d'exercice est un facteur contributif de l'évènement.

2.3.5. Délai entre les deux décollages

Le décollage est prévu sur les ordres pour chaque appareil à 8h30. Le logiciel de gestion des vols ne permet pas de planifier un écart inférieur à quinze minutes. C'est pourquoi l'usage est de planifier deux décollages indépendants à la même heure. Toutefois afin d'assurer un espacement minimal entre ces décollages, la pratique consiste à respecter un délai de cinq minutes entre eux. L'espacement habituel de cinq minutes entre deux appareils évoluant dans les mêmes zones repose donc sur les seuls équipages.

Or le jour de l'évènement, les deux hélicoptères n'ont décollé qu'avec un intervalle d'une minute et trente secondes.

Ce faible écart entre les deux décollages s'explique par un problème radio : juste après la mise en route, lors du « roulage », la tour de contrôle constate en effet que les émissions radio de la GZL 1 sont perturbées : ses messages sont coupés avant la fin. Informé par la tour de ce problème, l'équipage vérifie son équipement et y remédie. Les messages radio échangés ensuite sont clairs et compréhensibles. La GZL 1 décolle finalement avec quelques minutes de retard.

Des circonstances particulières ont contribué à la réduction de l'écart entre les deux décollages sans que les équipages n'en soient conscients.

2.3.6. Fréquence de sécurité

2.3.6.1. Imprécision de la procédure

Les fiches d'exercices prévoient l'utilisation d'une fréquence de sécurité entre les hélicoptères. Cependant aucune précision n'est apportée concernant les phases de vol où l'équipage doit être impérativement à l'écoute de celle-ci, ni concernant la procédure à suivre en cas d'absence de contact radio avec les autres hélicoptères dans la même zone.

Lors de l'évènement, la GZL 1 n'avait pas encore basculé sur la fréquence de sécurité et était encore à l'écoute de la fréquence de la tour de contrôle alors que le point de sortie était dépassé depuis plusieurs minutes. En revanche la GZL 2 avait déjà affiché la fréquence de sécurité.

Aucun équipage n'était donc en mesure de communiquer sa position à l'autre.

Le manque de précision concernant la gestion de la déconfliction par l'utilisation d'une fréquence de sécurité indique que ces séances d'instruction sont perçues comme totalement indépendantes l'une de l'autre, sans besoin de se coordonner pendant la phase de cheminement initial (pas de point de report, pas de point de sortie/entrée).

2.3.6.2. Utilisation de la fréquence de sécurité

Une fréquence de sécurité est prévue et indiquée au tableau en salle d'opérations. Pour ce vol il s'agit de la fréquence VHF 141.550 Mhz.

Cette fréquence peut être utilisée :

- pour la déconfliction des hélicoptères évoluant dans la même zone mais sur des axes distincts ;
- pour la déconfliction entre deux hélicoptères travaillant sur le même axe (décollages prévus avec 30 minutes d'écart) afin que le deuxième s'assure que le premier a bien quitté un PO avant de progresser vers celui-ci.

Il ressort des entretiens que c'est surtout la déconfliction entre deux appareils devant emprunter le même axe, mais à 30 minutes d'intervalle, qui est perçue comme la problématique prioritaire. En effet la durée du travail d'observation sur un PO peut varier en fonction des aptitudes du stagiaire à restituer la méthode et des remarques éventuelles faites par le moniteur. En outre, la séparation géographique des deux axes distincts étant bien définie à partir des premiers PO, le risque d'abordage avec l'hélicoptère voisin est perçu comme plus faible que celui avec l'hélicoptère rattrapant ou précédant (avance ou retard dans la progression sur le même axe).

En conséquence, l'affichage de la fréquence de sécurité et son emploi pendant la phase de mise en place sont encore moins perçus comme une priorité. Aucune consigne ne précise le point à partir duquel la fréquence doit être affichée et employée.

L'étude du BEA (cf. §1.18) indique que dans la plupart des cas d'abordage l'utilisation de la radio n'était pas optimale.

Le maintien de l'affichage de la fréquence VHF de la tour du Luc à bord de la GZL 1 est probablement dû à une sous-évaluation du risque d'abordage lors du cheminement initial et à l'absence de consignes précises pour l'utilisation de la radio.

2.3.7. Trajectoires

2.3.7.1. Préparation des cheminements

Les stagiaires préparent leurs vols le jeudi après-midi à partir des informations basiques qui leur sont communiquées : la position du premier objectif à observer ainsi que la direction de l'ennemi. Chaque moniteur briefe indépendamment son stagiaire. Le choix du premier PO est notamment arrêté. L'objectif est d'amener le stagiaire à choisir le PO prévu pour l'exercice, ce qui permet de poursuivre la séance d'instruction selon le scénario défini.

Les stagiaires doivent ensuite étudier la carte afin d'être en mesure de guider leur pilote vers le premier PO défini au briefing.

A ce stade du stage, il n'est pas systématiquement exigé du stagiaire qu'il prenne en compte la situation tactique (direction de l'ennemi) lors de la phase de mise en place. En conséquence, chaque stagiaire peut envisager la mise en place de manière différente. Par ailleurs, la méthode de déplacement ne prévoit pas de tracé de navigation car il s'agit d'apprendre aux stagiaires à diriger leur pilote en s'adaptant au terrain et à la situation tactique.

Les trajectoires adoptées par chacun des appareils sont cohérentes : on constate pour chacune des deux Gazelle un ralliement plutôt direct du PO, avec une prise en compte différencié de l'impératif de discrétion au regard du scénario tactique (la GZL 1 adoptant plus tôt un profil de vol tactique que la GZL 2).

Il n'existe aucune coordination sur cette phase de vol. Le cheminement initial vers le PO n'est pas systématiquement pris en compte par les moniteurs dans l'évaluation de l'exercice.

Ainsi, le choix de la méthode de mise en place peut varier en fonction des stagiaires et des moniteurs qui s'adaptent au niveau du stagiaire et aux conditions du moment.

Aucun témoignage ne permet d'affirmer que les deux moniteurs ont réalisé un briefing entre eux avant le vol, afin d'évoquer notamment les trajectoires envisagées lors du cheminement initial. Aucun briefing en commun n'est prévu entre les deux hélicoptères évoluant sur les deux axes distincts.

Si plusieurs briefings ont bien eu lieu, il est cependant impossible de déterminer ce qui a été évoqué concernant la phase de cheminement initial, celle-ci n'étant pas envisagée de manière identique par tous les moniteurs.

Il n'y a pas de briefing en commun prévu entre les deux équipages pour évoquer les risques liés à la présence de deux aéronefs cheminant vers les premiers PO, situés à proximité l'un de l'autre.

2.3.7.2. Séparation des trajectoires lors de la phase de cheminement initial

L'évènement a lieu au niveau d'une ligne électrique décrite par les moniteurs comme une matérialisation possible de la séparation des deux axes respectifs. Cette pratique n'est cependant pas indiquée dans les consignes d'exercice. Ainsi la séparation des deux hélicoptères pour la phase de mise en place n'est pas clairement définie. En outre, les stagiaires n'ont pas conscience qu'une ligne de séparation puisse exister entre les deux hélicoptères.

Après le décollage, les deux hélicoptères se dirigent vers le point de sortie « les Ubacs », point de report non publié, mais autorisé par la tour et utilisé régulièrement par les appareils basés au Luc. La tour de contrôle n'a pas connaissance des deux axes de travail de la séance. L'emprunt d'un même point de sortie et les positions assez proches des premiers PO de chaque axe conduisent les équipages à suivre deux trajectoires très similaires. Ces trajectoires font arriver les hélicoptères par l'est jusqu'à ce qu'ils débutent l'approche sur leur PO, l'un en direction du sud, l'autre en direction de l'est-nord-est.

L'adoption non coordonnée de deux trajectoires similaires lors de la phase de cheminement initial et l'absence de séparation entre ces deux axes aboutissent à une situation à risque. Le contrôle aérien gère les départs du terrain ainsi que les arrivées, sans avoir ni la connaissance des axes qui seront empruntés, ni la connaissance précise du contenu des missions. Ainsi des trajectoires conflictuelles peuvent être suivies lors de la phase de cheminement vers les premiers PO.

La GZL 1 descend en très basse altitude très rapidement après avoir passé « les Ubacs ». Sa vitesse de progression est alors réduite par rapport à celle de la GZL 2 qui ne descend vers la basse altitude qu'en arrivant à proximité du lac de Carcès. De ce fait, l'écart entre les deux hélicoptères s'est progressivement réduit. Au moment de changer de direction pour s'aligner sur l'axe d'approche des PO respectifs, leurs trajectoires se sont croisées simultanément, conduisant ainsi à l'abordage.

L'utilisation du même point de sortie par les deux hélicoptères, l'absence de séparation des trajectoires pour la mise en place et la proximité des PO contribuent à rendre les deux trajectoires conflictuelles et à augmenter le risque d'abordage.

2.3.8. Surveillance anti-abordage

Une reconstitution dynamique en 3D des deux vols a été réalisée. Celle-ci révèle que seule une recherche active de l'autre aéronef avec un balayage visuel important de la part de chaque équipage (mouvements de tête amplifiés) aurait pu permettre la détection de l'hélicoptère en rapprochement.

2.3.8.1. Fragilités de la règle « voir et éviter »

L'étude du BEA (cf. §1.18) indique que la règle « voir et éviter », si elle reste la règle de base pour éviter les abordages, n'a manifestement pas donné satisfaction dans les 17 cas considérés par l'étude. Dans le cas de l'abordage des deux Gazelle, elle a également été prise en défaut et montré ses limites. En effet, le principe « voir et éviter » ne peut être considéré comme absolument fiable.

Le bureau de la sécurité des transports australien²² a publié en 1991 une étude sur les fragilités du principe « voir et éviter ».

Cette étude toujours pertinente est accessible par le lien ci-dessous :

https://www.atsb.gov.au/media/4050593/see_and_avoid_report_print.pdf

Il ressort de ces publications que si la règle « voir et éviter » demeure fondamentale car elle a permis d'éviter un nombre important d'abordages, elle n'en reste pas moins faillible car dépendante des capacités de l'être humain à détecter et identifier les dangers.

L'origine maritime du concept « voir et éviter » rappelle que celui-ci a été développé pour des mobiles évoluant à faible vitesse²³. Le domaine aéronautique implique quant à lui la mise en œuvre de mobiles à des vitesses bien supérieures. Il est d'ailleurs démontré dans l'étude australienne comme dans celle du BEA que plus les vitesses de rapprochement sont élevées et moins le concept est pertinent.

Les limites du concept sont en fait liées aux limites des capacités humaines (vision, attention...), à la charge de travail, à la répartition des tâches au sein des équipages, aux caractéristiques des mobiles à détecter, etc...

En l'absence d'un système d'alarme anti-abordage à bord des Gazelle, le principe « voir et éviter » est la règle nécessairement appliquée au cours du vol pour assurer la surveillance du ciel et éviter un abordage. L'évitement des mobiles est donc soumis à la détection suffisamment anticipée de toute trajectoire d'aéronef potentiellement conflictuelle.

L'analyse qui suit expose les facteurs ayant contribué à mettre en défaut la détection et l'identification du danger par les équipages :

- une représentation erronée de la situation par les équipages qui se pensent isolés sur leur trajectoire et dont le niveau de vigilance concernant la surveillance du ciel est alors réduit ;
- une probable captation de l'attention, au moment de l'arrivée sur les premiers PO qui correspond au début de l'exercice ;
- les capacités physiologiques limitées de la vision humaine mise en défaut par le contraste trop faible entre le camouflage des hélicoptères et l'arrière-plan, ainsi que par l'éblouissement du soleil ;
- l'ergonomie de l'appareil dont les montants de la cabine peuvent avoir à plusieurs reprises masqué l'autre aéronef.

Le principe « voir et éviter » est faillible. Il ne permet pas d'assurer à lui seul l'évitement exhaustif des abordages et doit être complété par d'autres mesures de prévention.

2.3.8.2. Conscience partielle de la situation par les moniteurs

Les moniteurs ont conscience de l'existence des deux axes distincts de la séance globale car ils pratiquent l'un ou l'autre des axes en fonction de la programmation des vols. La séparation des hélicoptères pendant la séance est, de leur point de vue, assurée par la divergence des axes de progression à partir des premiers PO. De surcroît, la ligne électrique orientée est-ouest et passant par l'extrémité sud du lac de Carcès (cf. figure 4) est généralement admise comme un point de repère séparant les deux axes au-delà des premiers PO.

²² Australian Transport Safety Bureau.

²³ Harrold F. Marthinsen, *Another Look at the See-and-Avoid Concept*. ISASI forum, december 1989, p. 82 à 103.

Lorsque la GZL 1 décolle, elle est suivie par la GZL 2 à une minute et trente secondes d'intervalle. La GZL 1 se trouve devant la GZL 2 et plutôt sur sa gauche à l'ouest. Lorsque la GZL 1 descend en basse altitude, elle est toujours sur la gauche à l'ouest de la GZL 2. On observe ensuite que la GZL 2 reste en route directe vers l'extrémité sud du lac de Carcès, alors que la GZL 1 évolue dans le relief au nord pour rejoindre le lac. Ainsi sans qu'aucun des équipages n'en ait conscience, la GZL 1 passe de la gauche de la GZL 2 à sa droite au cours de ces évolutions en basse hauteur. Cependant, le profil de vol de la GZL 1 associé à l'environnement et la distance d'environ trois kilomètres séparant les deux Gazelle rendent la détection par la GZL 2 de cette bascule de gauche à droite quasiment impossible. Il est donc probable que le moniteur de la GZL 2 devant rejoindre l'axe de progression tactique au nord ait considéré que la GZL 1, qui devait rejoindre l'axe de progression tactique au sud, évoluerait toujours sur sa gauche.

La GZL 1 ayant décollé avant la GZL 2, son équipage n'a probablement jamais conscience d'être rattrapé par la GZL 2.



Figure 9 : positions relatives des Gazelle lors de la bascule de la GZL 1 de la gauche vers la droite

Le départ faiblement échelonné des hélicoptères et la bascule non perçue par la GZL 2 de la trajectoire de la GZL 1 de la gauche vers la droite ont amené les moniteurs à développer une conscience erronée de la situation concernant la trajectoire de l'autre aéronef.

2.3.8.3. Conscience partielle de la situation par les stagiaires

Les éléments fournis aux stagiaires lors de la préparation du vol se limitent à une première zone à observer et à une direction de progression de l'ennemi. Ainsi ils n'ont pas la connaissance des directions de progression des deux axes de la séance.

Si la feuille des vols mentionne effectivement que les deux vols du matin évolueront dans les mêmes secteurs, ils n'ont qu'une connaissance partielle de la mission attribuée à l'autre hélicoptère.

La gestion de la séparation des hélicoptères est du ressort des moniteurs afin de soulager le stagiaire de cette tâche. À cette fin, l'écoute de la fréquence de sécurité par les stagiaires n'est pas prévue. De plus, il n'y a aucune formalisation d'une possible ligne de séparation entre les deux hélicoptères lors de la phase de cheminement initial. Les entretiens réalisés avec d'autres stagiaires ont mis en évidence qu'aucun d'entre eux n'avait conscience qu'une ligne de séparation entre les deux hélicoptères pouvait exister (ligne haute tension). De surcroît, aucune limitation particulière dans leurs évolutions vers la zone de travail ne leur est imposée. Ainsi, les deux pilotes stagiaires ne sont pas conscients qu'un autre hélicoptère est présent à proximité et qu'ils effectuent quasiment le même trajet séparés de seulement quelques kilomètres. Ils ne peuvent pas élaborer une conscience de la situation exacte permettant la mise en place de mesures visant à éviter l'abordage. Les limites de la règle « voir et éviter » (cf. § 2.3.8.1) rappellent que l'on augmente les chances de détection visuelle par une recherche orientée.

Par ailleurs, même si les stagiaires peuvent déduire de la feuille des vols et des conversations entre eux lors de la préparation qu'un autre hélicoptère travaille à proximité, ils n'ont en pratique aucun moyen de savoir où se trouve l'autre hélicoptère puisque seuls les moniteurs sont censés écouter la fréquence de sécurité et sont chargés de la déconfliction.

Le stagiaire ne connaît pas les limites de son axe de travail et il n'est donc pas conscient d'un risque de trajectoires conflictuelles entre hélicoptères lorsqu'il donne ses instructions au PCB/moniteur et décide des trajectoires à adopter. Dans ce cas le stagiaire se crée une représentation erronée de la situation : il pense être seul.

Dans le cadre de l'exercice, la conscience de la situation des stagiaires est structurellement partielle. Au sein du cockpit, le stagiaire donne les ordres de guidage sans avoir conscience de la proximité d'un autre hélicoptère.

2.3.8.4. Notion de « vigilance non optimale »

Les consignes permanentes opérationnelles (CPO) du Luc appliquent à tort la formulation du règlement de la circulation aérienne militaire (RCAM) conçue pour le réseau très basse altitude²⁴ (RTBA) aux secteurs VOLTAC de classe G.

Référence : MILAIP France en vigueur.

Les zones d'instruction et d'entraînement au vol de combat attribuées à la plateforme du Luc sont situées dans le secteur VOLTAC LUC.

La tranche d'espace utilisée tous les jours ouvrables du L/S au C/S et du C/S à L/S en VOLTACN est comprise entre la surface et 150m ASFC à l'exclusion des espaces aériens publiés, interférant avec le secteur VOLTAC LUC.

L'existence du secteur VOLTAC LUC n'est reconnue que par l'aéronautique militaire étendue aux ministères autorisés à pratiquer la circulation aérienne militaire (CAM). La plus grande prudence est par conséquent recommandée aux usagers.

Le RCAM §3.2 admet que pour certains vols CAMT, la vigilance du vol à vue ne soit pas optimale quand ils sont pratiqués en espace réservé (secteur VOLTAC LUC).

Figure 10 : extrait des CPO²⁵

Ces consignes doivent ainsi être mises en perspective avec le paragraphe du RCAM correspondant²⁶.

RCAM.3201 Généralités

Aucune disposition des présentes règles ne dispense le pilote d'un aéronef de l'obligation de prendre les dispositions les plus propres à éviter une collision ou un abordage, y compris les manœuvres anticollision fondées sur des avis de résolution émis par l'équipement ACAS (RA TCAS).

Il importe que la vigilance exercée en vue de déceler les risques de collision ou d'abordage ne soit pas relâchée à bord des aéronefs au cours des évolutions sur l'aire de mouvement d'un aéroport ou en vol.

Il est toutefois admis que pour certains vols CAM T, cette vigilance puisse ne pas être optimale, pour des raisons opérationnelles. Ces vols se déroulent alors dans des espaces aériens spécialement réservés qui sont portés à la connaissance des usagers par la voie de l'information aéronautique.

Figure 11 : extrait du RCAM²⁷

Cette formulation des CPO, qui admet que la vigilance du vol à vue puisse ne pas être optimale, est trompeuse car elle génère un sentiment erroné de protection vis-à-vis du risque d'abordage.

²⁴ Zone réglementée dont l'accès est strictement réservé aux aéronefs autorisés.

²⁵ L/S : lever du soleil ; C/S : coucher du soleil ; VOLTACN : vol tactique de nuit.

²⁶ Le paragraphe mentionné RCAM § 3.2 correspond à une version obsolète du RCAM.

²⁷ ACAS : *Airbone Collision Avoidance System* (système embarqué de prévention des abordages) – RA TCAS *Resolution Advisory Traffic and Collision Avoidance System* (ordre d'évitement élaboré par un système d'alarme anti-abordage).

La notion d'espaces aériens spécialement réservés mentionnée au RCAM.3201 fait appel à une capacité de ségrégation et de séparation de l'activité rendue uniquement possible par le statut des zones concernées.

Alors que l'emploi des couloirs du RTBA répond totalement à la notion d'espace aérien spécialement réservé porté à la connaissance des usagers aériens par la voie de l'information aéronautique, l'emploi des secteurs VOLTAC ne peut être réglementairement envisagé dans ce cadre du fait même du statut de ces secteurs définis en espace aérien de classe G (cf. figure 12) où la règle « voir et éviter » reste incontournable et exclut de facto tout relâchement de la vigilance, comme suggéré par les CPO du Luc (cf. figure 10).

SECTEURS VOLTAC

Les hélicoptères de l'ALAT effectuent des missions d'entraînement, tous les jours ouvrés de jour comme de nuit, à très basse altitude dans des volumes appelés SECTEURS VOLTAC caractérisés par un nom.

Leurs limites latérales, verticales, ainsi que les entités de l'ALAT proches de ces secteurs sont indiquées dans les tableaux ci-dessous.

Ces secteurs sont définis en espace aérien de classe G, c'est pourquoi aucun gestionnaire ne peut être désigné.

Bien que bénéficiant de ce fait d'une certaine ségrégation vis-à-vis de la grande majorité du trafic aérien, ils restent perméables aux usagers autorisés à évoluer en dessous de cette hauteur minimale de vol en VFR, ainsi qu'aux aéronefs qui circulent sans personne à bord. Ce ne sont pas des portions d'espace aérien bénéficiant d'un statut réglementaire (R et D). De ce fait, ils ne sont pas opposables aux autres usagers autorisés.

Aussi, les équipages doivent en permanence y appliquer la règle «VOIR ET EVITER».

Figure 12 : extrait du MIL AIP

La formulation des CPO relative à la vigilance du vol à vue, dont il est admis explicitement qu'elle puisse ne pas être optimale, favorise à tort un sentiment de protection vis-à-vis du risque d'abordage dans les secteurs VOLTAC.

2.3.8.5. Sous-évaluation du risque

Pour les moniteurs, les décollages à deux hélicoptères dans la même zone sans être en patrouille constituée sont des situations habituelles qui ne présentent pas de risque particulier. Ceci est d'autant plus perçu comme tel le jour de l'évènement où les conditions météorologiques sont bonnes et assurent une visibilité satisfaisante aux équipages.

Pour les moniteurs, les délais habituels (cinq minutes) entre deux décollages sont suffisants pour assurer la séparation lors de la phase de cheminement initial.

De plus, la position des premiers PO a été modifiée environ un an avant l'évènement. Auparavant, les deux hélicoptères utilisaient le même PO et observaient chacun dans une direction opposée tout en ayant dans leur champ visuel l'autre appareil.

Le changement a consisté à faire débiter la séance à partir de deux PO distincts.

L'objectif de cette modification était double : réduire le risque d'abordage lié à la proximité des aéronefs et éviter que les deux stagiaires n'aient conscience de la présence d'un autre hélicoptère dans la zone pour leur permettre de mieux se concentrer sur la séance d'instruction. Les entretiens indiquent que cette modification est perçue comme un facteur d'atténuation du risque d'abordage.

La sous-évaluation du risque d'abordage par les équipages et plus particulièrement lors de la phase de cheminement initial peut avoir altéré l'attention portée à la surveillance du ciel. La sous-évaluation du risque d'abordage a contribué à l'évènement.

2.3.9. Absence de détection ou détection tardive

Si l'absence d'enregistreur de paramètres empêche de le confirmer absolument, les positions relatives des deux appareils estimées à partir de la reconstitution de la cellule de la GZL 1 et de l'examen des pales de la GZL 2 (axes respectifs correspondant à ceux des trajectoires estimées sur les dernières secondes, roulis quasiment nul) semblent néanmoins indiquer l'absence de manœuvre d'évitement de la part des hélicoptères.

Ce manque d'action corrective ou son caractère trop tardif traduit une absence de perception, ou une perception tardive de l'autre hélicoptère, n'offrant pas le temps nécessaire pour éviter l'abordage.

En réalité, à partir d'une phase de vol où le pilote est concentré sur un sujet précis, distinct de l'anti-abordage, plusieurs secondes peuvent être nécessaires pour que s'accomplissent les actions suivantes²⁸ :

- la transmission du message visuel au cerveau (0,1s) ;
- la reconnaissance de l'objet (jusqu'à 1s) ;
- l'abandon du projet d'action en cours (jusqu'à 1s) ;
- l'analyse du risque et la prise de décision de l'action (jusqu'à 4s) ;
- l'élaboration de l'action nouvelle (jusqu'à 4s) ;
- la mise en œuvre de l'action d'évitement par le pilote (0,4s) ;
- la réaction effective de l'appareil (jusqu'à 2s).

Il ressort de ces valeurs que la réaction à une situation imprévue d'un pilote professionnel concentré sur une tâche n'est pas instantanée mais peut au contraire prendre plusieurs secondes.

De plus, l'effet de surprise, en fonction de son ampleur, retarde également les réactions du pilote et, dans certains cas, est même susceptible de les bloquer (effet dit de sidération).

De surcroît, l'absence à bord des Gazelle de l'armée de terre d'un dispositif d'alarme anti-abordage a contribué à l'évènement en privant les équipages d'un moyen d'obtenir un préavis suffisant pour effectuer une manœuvre d'évitement.

La position relative des deux hélicoptères au moment de l'abordage indique une absence de réaction d'évitement ; cette absence de réaction est probablement la conséquence d'une absence de perception ou d'une perception trop tardive.

²⁸ *Advisory Circular « Pilots' Role in Collision Avoidance », Federal Aviation Administration – April 2016 – Rôle des pilotes dans la prévention des abordages.*

2.3.9.1. Perception des hélicoptères

Contraste de la livrée de la Gazelle avec l'environnement

La reconstitution 3D des trajectoires indique que quelques minutes avant l'évènement il était très difficile voire impossible de percevoir les hélicoptères. En effet, en volant en basse altitude, la livrée camouflée des Gazelle les rend très difficilement détectables lorsque l'arrière-plan est constitué de végétation. Ce phénomène est encore accentué par la présence de pénombre dans les vallées liée au soleil rasant. La reconstitution dynamique en 3D a permis de confirmer que même avec un balayage visuel important, les Gazelle étaient difficilement perceptibles l'une par l'autre.

Durant seulement quelques secondes avant l'évènement, la GZL 1 survole une zone ensoleillée, qui a pour caractéristique par rapport au reste de l'environnement d'être plutôt de couleur claire. De ce fait, le contraste est alors légèrement plus marqué, ce qui rend un peu plus favorable la perception de l'hélicoptère pendant cette brève phase de vol.



Figure 13 : reconstitution du contraste des Gazelle avec l'environnement

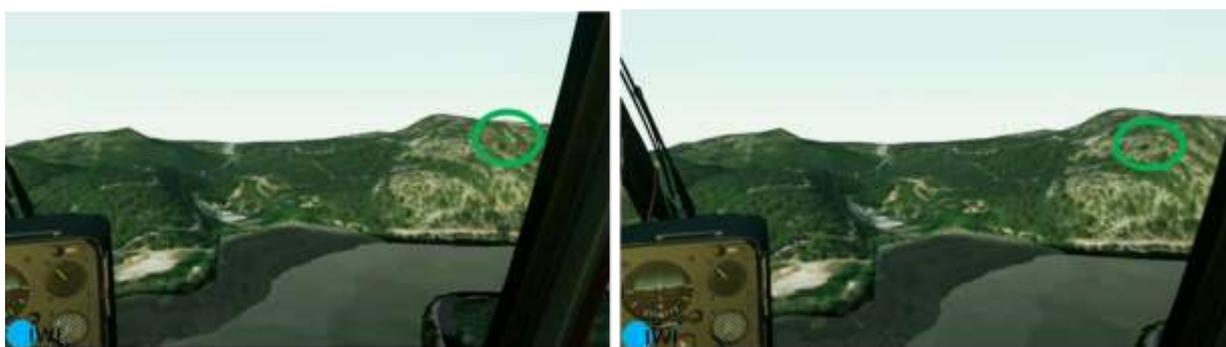


Figure 14 : reconstitution de la vue de la GZL 1 depuis la GZL 2 quelques secondes avant l'accident

La perception des hélicoptères a été rendue très difficile par le faible contraste avec l'arrière-plan.

Masquage par un montant du cockpit

Lorsque les deux hélicoptères longent le relief au sud du lac, il est possible, sous réserve que leur hauteur de vol le permette, d'envisager qu'ils aient eu la possibilité de se voir. La reconstitution 3D montre cependant qu'à plusieurs reprises, dans cette hypothèse, les montants du cockpit des Gazelle masquaient l'autre appareil. Ils ont pu empêcher les équipages de détecter la présence de l'autre hélicoptère, notamment si le masquage intervient au moment où l'équipage regarde en direction de l'autre hélicoptère. Ceci est d'autant plus probable qu'aucun des équipages n'ayant conscience de la proximité de l'autre, le temps d'observation sur le côté a alors pu être réduit à quelques fugaces instants.



Figure 15 : reconstitution du possible masquage de la GZL 1 par le montant du cockpit de la GZL 2

Les montants des cockpits ont masqué à plusieurs reprises l'autre hélicoptère, ce qui a limité la possibilité pour les équipages de le détecter.

Soleil rasant

Avant d'initier un virage, l'équipage doit effectuer un contrôle de sécurité dans la direction envisagée.

Après avoir longé le relief sur son versant Nord, la GZL 1 entreprend un virage à gauche pour rejoindre son PO. La position du soleil, alors à sa gauche et à une très faible hauteur au-dessus de l'horizon, a rendu impossible la détection de la GZL 2 pendant la phase de contrôle visuel et la suite du virage.



Figure 16 : reconstitution de l'effet d'éblouissement de la GZL 1 par le soleil

L'équipage de la GZL 1 est ébloui par le soleil lors du virage à gauche vers son PO. Dans ces conditions, la détection de la GZL 2 avec un préavis suffisant pour l'éviter est impossible.

2.3.9.2. Attention des équipages

Attention portée dans la cabine

Lors de l'évènement, les deux équipages sont proches de leur premier PO. À ce stade de la séance le stagiaire doit expliquer à son moniteur « l'approche » choisie pour atteindre le PO. Il est donc probable qu'une réflexion et un échange aient eu lieu entre chaque stagiaire et son moniteur quelques secondes avant l'évènement. Concentrés sur leurs échanges, l'attention des membres d'équipage des deux Gazelle a pu alors être détournée du balayage visuel extérieur.

L'approche des PO respectifs a pu induire une réflexion et un échange entre le stagiaire et le moniteur sur l'attendu concernant la manœuvre, induisant une captation collective de l'attention au détriment de la surveillance du ciel.

Attention portée vers un objet extérieur

De nombreuses lignes électriques sont présentes à proximité du lac de Carcès, notamment à proximité de la trajectoire des Gazelle. La GZL 1 lors de son virage à gauche n'est pas encore face à elles. Pour la GZL 2, une ligne est située sur sa gauche et dans le prolongement de sa trajectoire vers le PO.

Pour assurer la sécurité en vol, les équipages recherchent et annoncent toutes les lignes électriques. Il est donc probable qu'un des membres d'équipage ait perçu cette ligne, l'ait annoncée, attirant alors l'attention de l'autre membre d'équipage sur celle-ci. Par conséquent, il est possible que l'équipage de la GZL 2 ait orienté son regard sur la gauche à la recherche de la ligne. Dans cette hypothèse, la GZL 1 surgissant de la droite avec un faible contraste serait quasiment impossible à détecter à temps.

L'équipage de la GZL 2 a pu se focaliser sur la recherche d'une ligne électrique présente à gauche de sa trajectoire alors que l'autre hélicoptère arrivait sur sa droite.

Attention portée sur la trajectoire future

Les deux équipages arrivent à leur PO, considéré comme le début de la mission d'instruction, où ils doivent mettre en application ce qui a été enseigné. Il est possible que leur attention ait été portée sur la visualisation de la suite de leur exercice. Ce type de stratégie d'anticipation est en effet fréquent dans l'activité de pilotage. Or, si les ressources cognitives de l'équipage sont résolument portées en avant de la trajectoire, la détection de la proximité d'un autre hélicoptère dans le champ visuel devient alors difficile.

Au moment de l'évènement, les stagiaires débutent la restitution des connaissances. Dans ce contexte, les équipages ont pu porter leur attention sur la trajectoire future.

2.3.10. Synthèse de l'analyse FOH

L'analyse des facteurs organisationnels et humains indique que les éléments suivants ont conduit à l'abordage :

- sous-évaluation du risque d'abordage lors de la phase de cheminement initial en raison :
 - d'un exercice perçu comme dénué de risque particulier,
 - de l'absence d'anticipation, dans la construction de l'exercice, des trajectoires potentiellement conflictuelles du cheminement initial,
 - d'imprécision dans les mesures de déconfliction et de coordination prévues dans les CPO et les procédures de la DHRA ;
- raccourcissement important du délai entre les deux décollages ;
- usage non cadré de la fréquence de sécurité dans la phase de cheminement initial ;
- absence de briefing coordonné entre deux équipages pratiquant un exercice dans la même zone ;
- surveillance du ciel non optimale en raison :
 - d'une conscience partielle de la situation concernant le positionnement respectif des hélicoptères,
 - d'un sentiment erroné de protection dans le secteur VOLTAC du Luc ;
- absence de détection ou une détection trop tardive en raison :
 - d'une attention des équipages probablement captée quelques secondes avant l'évènement au détriment de la surveillance du ciel,
 - d'une perception rendue quasiment impossible par les conditions d'arrière-plan, le camouflage, le masquage par les montants du cockpit et l'éblouissement,
 - de l'absence de dispositif technique de prévention des abordages à bord des Gazelle de l'armée de terre.

3. CONCLUSION

L'évènement est un abordage de deux hélicoptères en fin de phase de mise en place pour deux séances d'instruction indépendantes, en vol à vue de jour.

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

Les deux hélicoptères effectuent chacun une mission d'instruction indépendante.

Cette mission d'instruction d'un futur commandant de bord induit un fonctionnement particulier où un jeu de rôle est instauré entre le stagiaire et le moniteur.

Les hélicoptères décollent avec un espacement de l'ordre d'une minute et trente secondes au lieu des cinq minutes prévues et se dirigent vers la même zone.

Une fréquence de sécurité est prévue, mais son emploi n'est pas formalisé. Elle n'est affichée qu'à bord d'un seul des hélicoptères.

Chaque hélicoptère doit rejoindre son propre poste d'observation, distant l'un de l'autre de 1 500 mètres.

Chaque trajectoire est cohérente pour rejoindre le poste d'observation assigné.

La GZL 1 rejoint le lac de Carcès en longeant un massif sur son versant nord puis vire à gauche en direction de son premier PO au sud.

La GZL 2 rejoint le lac de Carcès en longeant le même massif sur son versant sud en direction de l'ouest.

3.2. Causes de l'évènement

Les causes de l'abordage relèvent principalement du domaine des facteurs organisationnels et humains, ainsi que de facteurs environnementaux (soleil).

Les éléments ci-après ont contribué à la prise en compte insuffisante du risque d'abordage lors de l'exercice :

- absence de mesures de séparation et de coordination précises pour la phase de cheminement vers les premiers PO (délais indéterminés entre deux décollages, usage non cadré de la fréquence de sécurité, imprécision des directives de déconfliction) ;
- absence de briefing commun entre les deux équipages travaillant dans la même zone ;
- absence d'anticipation, lors de la construction de l'exercice, des trajectoires potentiellement conflictuelles des cheminements vers les premiers PO.

Les éléments ci-après ont contribué à la non détection des hélicoptères entre eux :

- sentiment erroné de protection dans le secteur VOLTAC ;
- limites du principe « voir et éviter » ;
- conscience erronée de la situation, chez les moniteurs, de leur position l'un par rapport à l'autre ;
- absence d'information des stagiaires, par les moniteurs, de la présence d'un autre hélicoptère dans la zone ;
- éblouissement de l'équipage de la GZL 1 par le soleil pendant le dernier virage à gauche ;
- temps disponible insuffisant pour que l'équipage de la GZL 2 réagisse à l'apparition de l'autre appareil surgissant de la droite ;
- probable captation de l'attention des équipages au détriment de la surveillance du ciel ;
- absence à bord des Gazelle d'un dispositif d'alarme anti-abordage.

PAS DE TEXTE

4. RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

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

4.1.1. Mesures de séparation

L'absence de mesures de séparation précises (espacement au décollage, délimitation géographique, coordination radio) pour la phase de cheminement au sein d'une même zone de travail a conduit les deux hélicoptères à adopter des trajectoires les rapprochant progressivement l'un de l'autre, sans que les équipages ne puissent en avoir conscience.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de terre de mettre en place des mesures de séparation entre hélicoptères cheminant vers une même zone de travail en imposant :

- un délai minimum entre les décollages ;
- ou, lorsque ce délai ne peut pas être respecté (contraintes),**
- un mode coordonné de déconfliction, acté lors d'un briefing commun entre équipages, incluant des itinéraires séparés, un contact radio obligatoire et une subdivision des zones attribuées.

R1 - [T-2018-02-A]

4.1.2. Dispositifs anti-abordage

L'absence de dispositif technique d'anti-abordage à bord des Gazelle a privé les équipages d'un moyen de détection et d'évitement.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de terre d'étudier, en liaison avec la DGA, la possibilité d'équiper ses hélicoptères de moyens techniques de prévention des abordages.

R2 - [T-2018-02-A]

4.1.3. Construction des exercices

La non détection, ou la détection trop tardive des hélicoptères l'un par l'autre a abouti à l'évènement. Ce défaut de détection a été favorisé par la prise en compte insuffisante du risque d'abordage lors du cheminement vers les PO. En outre, la formulation des consignes opérationnelles de l'EALAT est de nature à générer une impression erronée de protection des aéronefs dans les secteurs VOLTAC.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de terre de reformuler les CPO de l'EALAT en affirmant la nécessaire vigilance du vol à vue en CAM T.

R3 - [T-2018-02-A]

à l'armée de terre de revoir la construction des exercices de l'EALAT en intégrant la prévention du risque d'abordage, notamment pour la phase de cheminement vers les premiers PO.

R4 - [T-2018-02-A]

4.1.4. Voir et éviter

La règle « voir et éviter » ne peut constituer à elle seule un rempart suffisant contre le risque d'abordage.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de terre de rappeler à ses équipages les limites du concept « voir et éviter » en s'appuyant sur le présent rapport et les études qui y sont mentionnées.

R5 - [T-2018-02-A]

4.1.5. Visibilité des Gazelle

La livrée camouflée des hélicoptères Gazelle rend leur détection très difficile par nature. Si la mission de l'EALAT nécessite de préserver dans certaines phases de vol cette discrétion, cette livrée a néanmoins contribué à l'évènement.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de terre d'améliorer la visibilité de ses hélicoptères Gazelle utilisés en école lors des phases ne nécessitant pas le maintien d'une discrétion absolue (emploi des feux et phares, rotating notamment).

R6 - [T-2018-02-A]

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

4.2.1. Balises de détresse

Les balises de détresse des deux hélicoptères se sont déclenchées lors de l'impact au sol. Cependant leur signal n'a pas été perçu en raison de la rupture des antennes à leur base. Cette rupture est probablement la conséquence du conditionnement de l'antenne (repliée sur le côté) qui induit une fragilité à cet endroit.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de terre de revoir le conditionnement de ses balises de détresse afin d'éviter la fragilisation de l'antenne.

R7 - [T-2018-02-A]

4.2.2. Suivi des vols

L'alerte a été donnée par les témoins directs de l'accident. En l'absence de ces témoins, et compte tenu des dégâts provoqués sur les balises par l'impact au sol, la localisation de l'accident aurait été très difficile. Par ailleurs, l'absence d'affichage d'un code transpondeur empêche le bon suivi des hélicoptères.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de terre d'améliorer le suivi des hélicoptères en vol dans les zones de travail, notamment en rappelant l'obligation de l'affichage d'un code transpondeur et en équipant les appareils de balises de suivi GPS en cas d'évolution dans des zones où la détection radar est insuffisante.

R8 - [T-2018-02-A]

4.2.3. Enregistreur de données de vol

Le parc des hélicoptères Gazelle de l'armée de terre est en cours de modification. Ainsi les Gazelle sont progressivement équipées de moyens d'enregistrement. Celles de cet accident n'en étaient pas encore dotées.

La compréhension du mécanisme de cet événement repose d'une part sur les témoignages et d'autre part sur des expertises techniques poussées qui auraient pu être évitées en présence d'un enregistreur de données.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de terre, en relation avec la DGA, d'étudier l'accélération de l'équipement de ses aéronefs d'enregistreur de données d'accidents (paramètres et voix, ou vidéo).

R9 – [T-2018-02-A]

ANNEXES

ANNEXE 1 ZONE RÉGLEMENTÉE LF R95 ET SECTEUR VOLTAC LE LUC	49
ANNEXE 2 EXTRAIT DU RCAM	50
ANNEXE 3 PRÉSENTATION DE L'OUTIL /W/®	51

ANNEXE 1

ZONE RÉGLEMENTÉE LF R95 ET SECTEUR VOLTAC LE LUC



Figure 17 : extrait de la carte 1/500 000 (non à l'échelle)



Figure 18 : secteur VOLTAC le Luc

ANNEXE 2

EXTRAIT DU RCAM

Chapitre 2

Prévention des collisions et des abordages

RCAM.3201 Généralités

Aucune disposition des présentes règles ne dispense le pilote d'un aéronef de l'obligation de prendre les dispositions les plus propres à éviter une collision ou un abordage, y compris les manœuvres anticollision fondées sur des avis de résolution émis par l'équipement ACAS (RA TCAS).

Il importe que la vigilance exercée en vue de déceler les risques de collision ou d'abordage ne soit pas relâchée à bord des aéronefs au cours des évolutions sur l'aire de mouvement d'un aéroport ou en vol.

Il est toutefois admis que pour certains vols CAM T, cette vigilance puisse ne pas être optimale, pour des raisons opérationnelles. Ces vols se déroulent alors dans des espaces aériens spécialement réservés qui sont portés à la connaissance des usagers par la voie de l'information aéronautique.

RCAM.3205 Proximité

Un aéronef n'évolue pas à une distance d'un autre aéronef telle qu'il puisse en résulter un risque d'abordage.

RCAM.3210 Priorité de passage

3210-01 Principes

- a) l'aéronef qui a la priorité de passage conserve son cap et sa vitesse ;
- b) lorsqu'un pilote sait que la manœuvrabilité d'un autre aéronef est entravée, il cède le passage à celui-ci ;
- c) un aéronef qui, aux termes des règles ci-après, se trouve dans l'obligation de céder le passage à un autre aéronef, évite de passer au-dessus ou au-dessous de ce dernier, ou devant lui, à moins de le faire à bonne distance et de tenir compte de la turbulence de sillage.

3210-02 Aéronefs se rapprochant de face

Lorsque deux aéronefs se rapprochent de face ou presque de face et qu'il y a risque d'abordage, chacun d'eux oblique vers sa droite.

3210-03 Routes convergentes

Lorsque deux aéronefs se trouvant à peu près au même niveau suivent des routes convergentes, celui qui voit l'autre à sa droite s'en écarte.

Toutefois :

- a) les aéroplanes moto propulsés cèdent le passage aux dirigeables, aux planeurs et aux ballons ;
- b) les dirigeables cèdent le passage aux planeurs et aux ballons ;
- c) les planeurs cèdent le passage aux ballons ;
- d) les aéroplanes moto propulsés cèdent le passage aux aéroplanes qui sont vus remorquant d'autres aéroplanes ou objets.

ANNEXE 3

PRÉSENTATION DE L'OUTIL IWI®

Background about IWI®

The Immersive Witness Interview (IWI) techniques and the iPad app tool used in this report were developed by Dr. Bauer since 2007 to provide a qualitative and simple to understand analysis of accident flight path investigations. The IWI methodology principally reconstructs a flight path based on eyewitness observation information where there is no flight data recorder or radar data available. The IWI methodology and the MSimulation software use basic physiological and psychological information from the interviewing of multiple eyewitnesses of an event to reconstruct and defined a vehicles flight path into a 3D world.

During the interview of individual eyewitnesses, each witness is asked to provide a 2D account of their statement based observed flight path, established from their lines of sight and the distance to a known fixed reference objects. The individual accounts are then recorded and transferred into a 3D environment to interact with other witness accounts for a consolidated path profile that allows a visualization of the circumstances in a 3D environment.

A visual verification of the dependencies in the witness statements can quickly be identified in the *Immersive Witness Interview Analyzer* software to qualify the level of witness error or accuracy (showing the witnesses who articulate good / poor observations).

Further the result of the reconstructed flight situation can be visualized in a real-time and fully immersive Virtual-Reality environment from different perspectives, using the *Immersive Witness Interview Realism*.

IWI® can approximate a flight path or moving path with a minimum of two different positioned eyewitness statements. The result can be visualized with the expected errors using the developed IWI® application called: *Immersive Witness Interview Analyzer* software for 3D visualization. The results can be also exported to Google Earth for visualization.

PAS DE TEXTE