

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

Rapport d'enquête de sécurité



S-2021-18-A

Date de l'évènement	12 septembre 2021
Lieu	Villard-de-Lans (Isère)
Type d'appareil	EC 145 – C2
Organisme	Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises

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

	José ROCHA	Page de garde
Figures 1 à 3	RESEDA et BEA-É	8 à 10
Figure 4	Pierre DAMIEN et BEA-É	14
Figures 5 et 6	Gendarmerie nationale et BEA-É	15 et 16
Figure 7	Driton SELMAN et BEA-É	17
Figure 8	Airbus Helicopters et BEA-É	22
Figure 9	Iwiation, Model air club d'Aix-en-Provence et BEA-É	27
Figure 10	Airbus Helicopters et BEA-É	30
Figure 11	Iphigénie, RESEDA et BEA-É	32

TABLE DES MATIÈRES

GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS.....	5
1. Renseignements de base.....	7
1.1. Déroulement du vol.....	7
1.2. Dommages corporels.....	10
1.3. Dommages à l'aéronef	10
1.4. Autres dommages	11
1.5. Renseignements sur l'équipage.....	11
1.6. Renseignements sur l'aéronef.....	12
1.7. Conditions météorologiques	13
1.8. Aides à la navigation	13
1.9. Télécommunications	13
1.10. Renseignements sur l'aéroport	13
1.11. Enregistreurs de bord.....	14
1.12. Constatations sur la zone de l'accident et sur l'aéronef.....	14
1.13. Renseignements médicaux.....	16
1.14. Incendie.....	17
1.15. Questions relatives à la survie des occupants et à l'organisation des secours	18
1.16. Essais et recherches	19
1.17. Renseignements sur les organismes.....	19
2. Analyse	21
2.1. Expertises techniques.....	21
2.2. Séquence de l'évènement.....	22
2.3. Recherche des causes de l'évènement.....	24
2.4. Facteur d'aggravation possible des conséquences de l'accident	37
2.5. Élément d'intérêt relevé : méconnaissance d'un avertissement du manuel de vol de l'EC 145-C2	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	43

GLOSSAIRE

AH	Airbus Helicopters
BH38	Base d'hélicoptères du département de l'Isère
CCS	Centre de coordination de sauvetage
CEMPN	Centre d'expertise médicale du personnel navigant
CH	Centre hospitalier
CODIS	Centre opérationnel départemental d'incendie et de secours
COZ	Centre opérationnel de zone
CVFDR	<i>Cockpit voice and flight data recorder</i> – enregistreur de voix et de données de vol
DGA	Direction générale de l'armement
DGSCGC	Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises
ft	<i>Feet</i> – pieds (un pied vaut 30,48 cm)
GHSC	Groupement d'hélicoptères de la sécurité civile
GMA	Groupement des moyens aériens de la DGSCGC
IRBA	Institut de recherche biomédicale des armées
kt	<i>Knots</i> – nœuds (un nœud vaut 1,852 km/h)
MOB	Mécanicien opérateur de bord
Nm	<i>Nautical mile</i> – mille nautique (un mille nautique vaut 1 852 mètres)
PGHM	Peloton de gendarmerie de haute montagne
SAMU	Service d'aide médicale d'urgence
SHE	Safran Helicopter Engines
VSAV	Véhicule de secours et d'assistance aux victimes

SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 12 septembre 2021 à 16h20

Lieu de l'évènement : Villard-de-Lans (Isère)

Organisme : direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises (DGSCGC)

Commandement organique : groupement des moyens aériens (GMA) de la DGSCGC

Unité : base d'hélicoptères du département de l'Isère (BH38)

Aéronef : BK117 « EC 145 – C2 », immatriculé F-ZBQG

Nature du vol : mission de secours en montagne médicalisé

Nombre de personnes à bord : 5

Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

Le 12 septembre 2021 aux alentours de 16h, l'hélicoptère DRAGON 38 de la BH38 décolle pour une mission de secours en montagne médicalisé au profit d'un vététiste victime d'un traumatisme crânien sur la station de ski de Villard-de-Lans. Après 10 minutes de transit, DRAGON 38 arrive sur le secteur d'intervention, situé en partie haute du versant ouest d'une ligne de crête peu marquée, culminant à 1555 mètres (m) d'altitude. Des parapentistes évoluent sur ce secteur. DRAGON 38 débute sa reconnaissance de la zone en actionnant sa sirène pour libérer son secteur d'évolution. Après avoir localisé la victime, l'équipage décide d'atterrir sur une zone plane située en haut du versant à une centaine de mètres de la victime. L'hélicoptère survole ensuite la zone de poser. Le mécanicien opérateur de bord (MOB) passe dans la soute pour ouvrir la porte arrière gauche et s'y positionner en vue de l'atterrissage tandis que DRAGON 38 débute sa mise en place en s'éloignant légèrement vers la pente descendante du versant. En fin de demi-tour par la droite, toujours en virage et à faible vitesse, le pilote s'aperçoit que sa vitesse indiquée est nulle. Il incline alors davantage la machine afin de la diriger vers la pente lui offrant un dégagement. L'hélicoptère s'enfonce franchement et heurte la pente herbeuse. Puis il heurte frontalement un rocher qui provoque la rupture de la partie arrière de l'hélicoptère, qui fait plusieurs tonneaux et finit sa course une trentaine de mètres plus bas, sur un chemin. Les membres d'équipage valides évacuent l'appareil et transportent le MOB et le médecin à distance de l'épave qui prend feu très rapidement. Le MOB décède dans l'accident tandis que les quatre rescapés sont évacués par hélicoptère vers le centre hospitalier (CH) nord de Grenoble.

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 enquêteur technique (BEA-É) ;
- un enquêteur de première information ;
- un pilote ayant une expertise sur EC 145 et en vol en montagne ;
- un mécanicien opérateur de bord (MOB) ayant une expertise sur EC 145 et en vol en montagne ;
- un médecin breveté supérieur de médecine aéronautique.

Autres experts consultés

- Direction générale de l'armement (DGA) Essais propulseurs / Restitution des enregistreurs d'accidents (RESEDA) ;
- Direction générale de l'armement Techniques aéronautiques (DGA TA) /Division d'investigations suite à accident ou incident (MTI) ;
- Direction générale de l'armement Essais en vol (DGA EV) ;
- Safran Helicopter Engines (SHE) ;
- Airbus Helicopters (AH) ;
- Iwiation GmbH ;
- Météo-France ;
- Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA).

PAS DE TEXTE

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Type de vol : circulation aérienne générale – vol à vue

Type de mission : secours en montagne médicalisé

Dernier point de départ : aérodrome de Grenoble Le Versoud (LFLG)

Heure de départ : 16h06

Point d'atterrissage prévu : aérodrome de Grenoble Le Versoud (LFLG)

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

Le jour de l'évènement, l'équipage de conduite de l'hélicoptère (pilote et MOB), les deux secouristes du peloton de gendarmerie de haute montagne (PGHM) de permanence ainsi que le médecin secouriste se retrouvent à la BH38 vers 8h. Après la préparation matérielle habituelle et la consultation des prévisions météorologiques pour la journée, DRAGON 38 réalise quatre missions de secours en montagne sans interruption sur la fin de la matinée et la première partie de l'après-midi.

L'hélicoptère est de retour à la BH38 à 15h23. L'équipage, les secouristes et le médecin profitent de ce court moment de répit pour s'alimenter. À 15h40, les camarades d'un vététiste victime d'un traumatisme crânien sur la station de ski de Villard-de-Lans (38) appellent le CODIS 38. Selon le logigramme prévu à cet effet, le CODIS décide de classer l'opération en « secours en montagne », ce qui implique l'ouverture d'une conférence téléphonique entre l'opérateur CODIS, le requérant et le PGHM de l'Isère de permanence « secours en montagne ». Au cours de cet échange, il est déterminé que le PGHM interviendra avec l'hélicoptère de la BH38. Le SAMU, intégré dans la conférence, décide de médicaliser l'opération. Le CODIS engage alors, à 15h50, DRAGON 38, qui se prépare à partir avec les deux secouristes du PGHM et le médecin de permanence.

Après avoir consulté la fiche d'intervention, l'équipage (pilote et MOB) étudie la zone d'intervention. Cette dernière, qu'il connaît déjà, se situe à environ 1 500 m d'altitude, sur le versant ouest de la station de ski de Villard-de-Lans (38), bordée à l'est par une ligne de crête orientée au nord, culminant à un peu plus de 2 000 m d'altitude. L'équipe d'intervention réalise ensuite un briefing MEMO¹. À l'issue, un ravitaillement de l'hélicoptère en carburant est réalisé.

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

DRAGON 38 décolle de l'aérodrome de Grenoble Le Versoud à 16h06. Il survole Grenoble en prenant de l'altitude après le décollage puis rallie la vallée de Villard-de-Lans, orientée nord-sud, par le chemin le plus court. Il transite vers le sud, d'abord à 4 150 ft, sur le versant ouest de la vallée, afin d'éviter les parapentes survolant le versant opposé. À une minute et trente secondes de l'arrivée sur le secteur de la victime, alors que DRAGON 38 arrive à 5 100 ft, l'équipage repère un autre groupe de parapentes survolant la zone d'intervention à la même hauteur de vol.

DRAGON 38 arrive par le nord sur le versant ouest de la station de Villard-de-Lans où se trouve le vététiste. Ce dernier se trouve à environ 1 500 m d'altitude, approximativement à 150 m au sud-sud-ouest d'un plateau concentrant les arrivées et départs de remontées mécaniques de la station ainsi qu'un restaurant. À l'arrivée de l'hélicoptère à 16h17, au moins cinq parapentistes évoluent sur le secteur d'intervention entre 4 950 ft (1 500 m) et 6 550 ft (2 000 m) d'altitude.

¹ Briefing avant mission développé au sein de la BH38, pour associer tous les membres de la mission, partager les informations, et vérifier les moyens. L'acronyme MEMO signifie :

- mission : type de mission ;
- équipements : définition des équipements nécessaires à la mission (médicaux, crampons, piolets, cordes, etc.) ;
- moyens : mis en œuvre pour réaliser la mission (treuil notamment) ;
- obstacles : nature de la zone d'intervention.

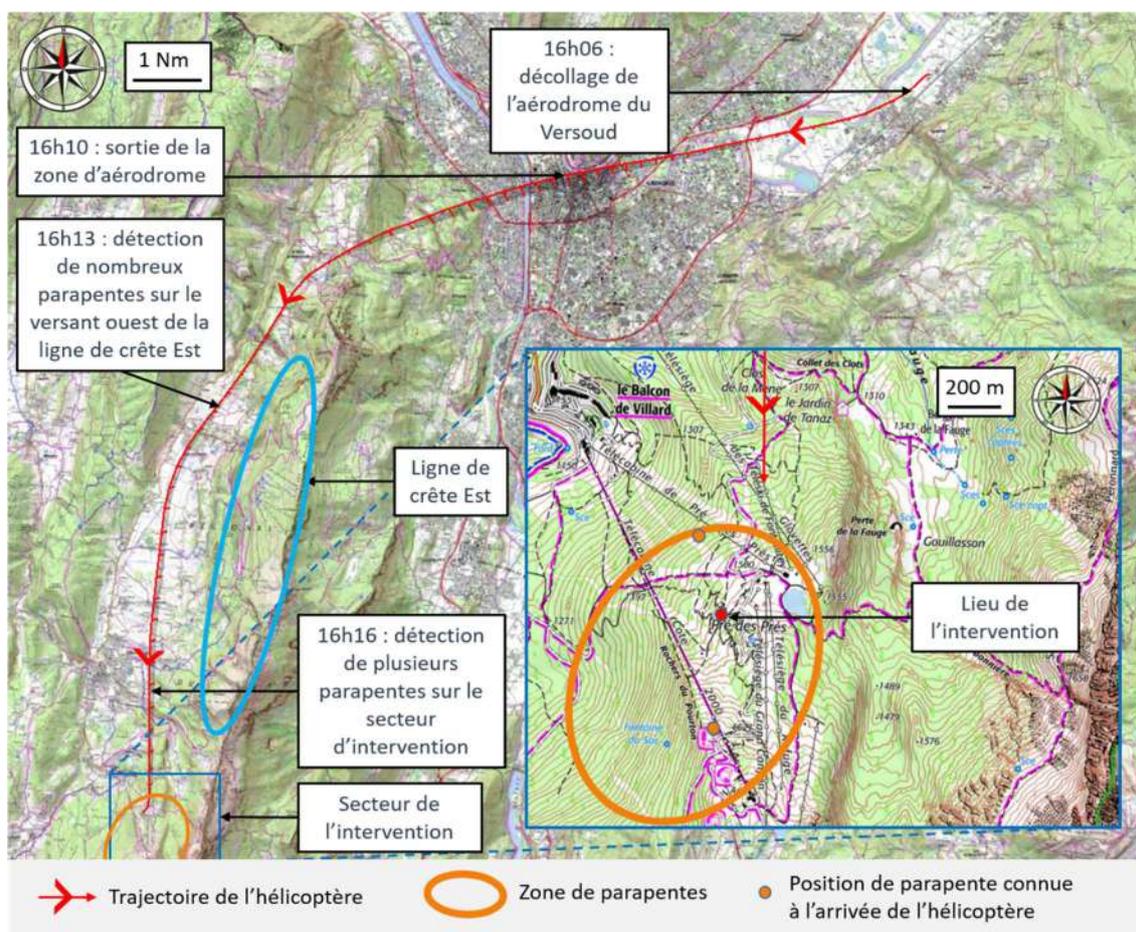


Figure 1 : transit et arrivée de DRAGON 38 sur le secteur d'intervention

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

Avant d'avoir pu localiser la victime, alors que DRAGON 38 pénètre le secteur d'intervention par le nord, l'attention des occupants de l'hélicoptère se concentre sur le repérage des parapentistes présents afin d'adapter la trajectoire de vol à cette contrainte. La communication dans l'hélicoptère est dense et centrée sur ce sujet, chacun prenant la parole pour annoncer la position d'un ou de plusieurs parapentistes au pilote. Le MOB actionne la sirène de l'hélicoptère à trois reprises alors que le pilote annonce une ligne électrique au sol. Évoluant par la droite pour éviter un parapentiste, DRAGON 38 survole la victime à 16h17, tandis que la communication au sujet des parapentistes est toujours aussi dense. À ce moment, seuls le second secouriste, le médecin et le MOB identifient sa position, le pilote étant concentré sur la sécurité de la trajectoire de l'hélicoptère. Le vététiste se trouve dans la pente ouest de la station, sur une piste de VTT, en un point clairsemé d'arbres.

L'hélicoptère s'éloigne ensuite pendant une dizaine de secondes du lieu de localisation de la victime, puis vire par la gauche tout en entamant une réduction de vitesse. Pendant le virage, le médecin annonce au pilote que la victime se trouve dans la pente, à la verticale des parapentes, alors que le MOB surveille les parapentes. L'hélicoptère avance ensuite à très basse vitesse face à la position des vététistes. Montant légèrement pour garder une trentaine de mètres de hauteur sol, le pilote annonce son dégagement à droite. Le médecin et le second secouriste le guident pour qu'il identifie la position de la victime, tout en annonçant deux parapentes sur le secteur. Après une trentaine de secondes, à 16h19, le pilote identifie la position du vététiste et le MOB propose alors de se poser et couper les moteurs sur une aire plane située à côté d'un restaurant. Le pilote évoque la possibilité de réaliser un appui-patin dans la pente tandis que l'hélicoptère avance à très faible vitesse face à la pente et à une trentaine de mètres du sol pendant quelques instants.

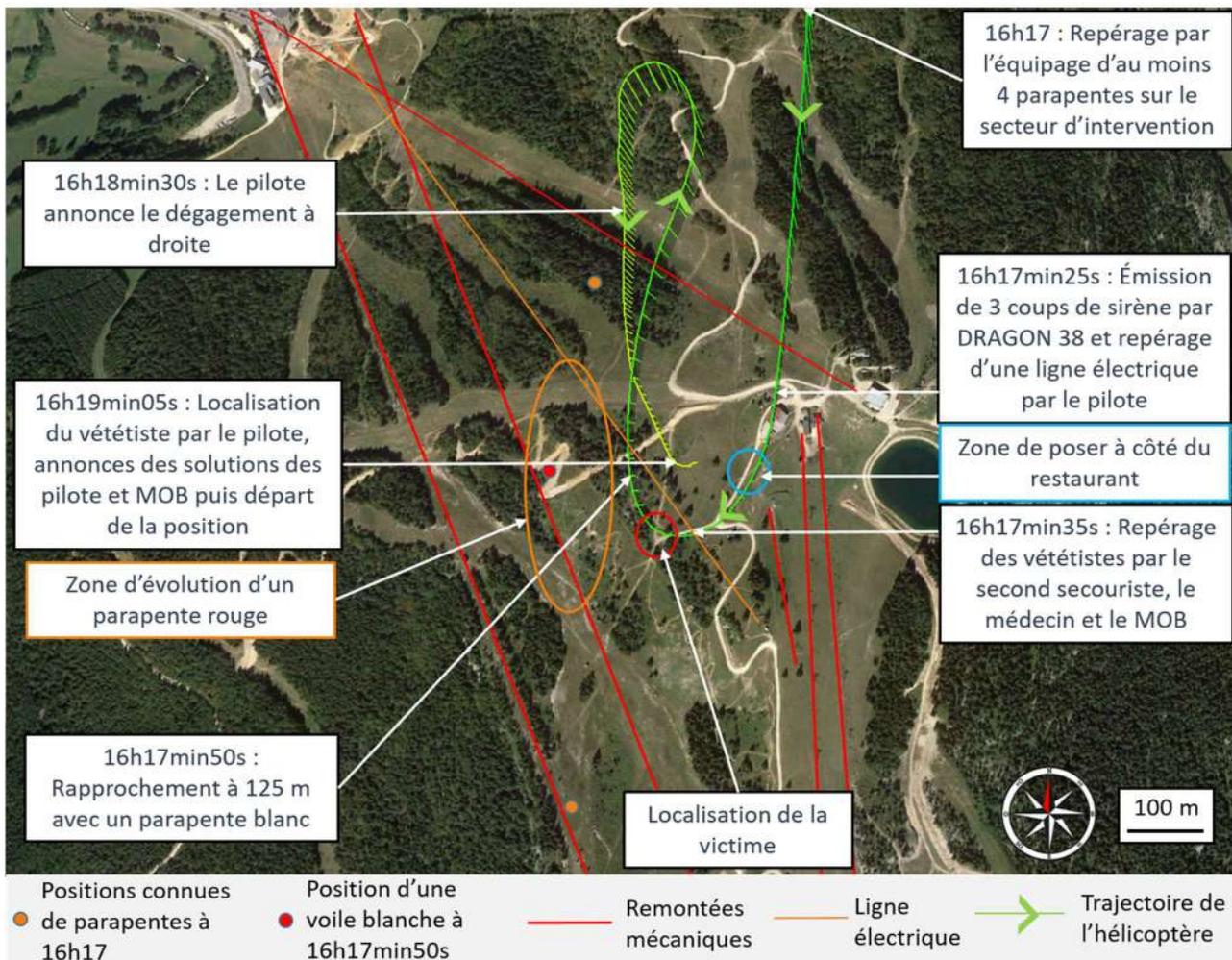


Figure 2 : début de l'intervention

L'hélicoptère dégage ensuite à basse vitesse, par la gauche vers le nord, tandis que le MOB propose à nouveau d'atterrir à proximité du restaurant, option que le pilote valide en annonçant clairement sa décision. Le MOB réalise ensuite les vérifications avant atterrissage alors que l'hélicoptère évolue par la droite pour rejoindre la verticale du restaurant au cap sud. Le MOB annonce qu'il passe dans la soute cargo et se sécurise tandis que le pilote lui demande où se trouve la zone de poser. Le MOB lui répond qu'elle est derrière le restaurant puis lui annonce le passage à la verticale de cette dernière. Le pilote lui répond qu'il va « repasser et qu'il va voir » puis dirige l'hélicoptère vers la vallée, en légère descente. À 16h19 et 45 secondes, pendant l'éloignement à basse vitesse, le MOB annonce qu'il est sécurisé et demande l'autorisation d'ouvrir la porte arrière gauche, que le pilote lui donne. Puis le MOB annonce que la porte est ouverte et que tous les occupants sont attachés. Il positionne ensuite ses pieds sur le patin gauche, tandis que le pilote entame un virage par la droite à environ 20° d'inclinaison et en légère réduction de vitesse. Dix secondes avant la collision avec le sol, il poursuit son virage à droite, à vitesse très faible, en augmentant légèrement l'inclinaison à droite. Proche d'arriver face au restaurant, huit secondes avant l'accident, le pilote verbalise son étonnement de ne plus se souvenir de la localisation de la zone de poser. Il interrompt soudainement sa phrase pour s'invectiver lui-même, tandis qu'il s'aperçoit que sa vitesse indiquée est nulle, avec un vent secteur arrière. Il décide alors de dégager par la droite, en augmentant l'inclinaison, ce qui entraîne un fort taux de chute de l'hélicoptère dans le virage. Juste après une exclamation de surprise du pilote, l'hélicoptère heurte le sol avec le patin droit, alors qu'il aborde la pente descendante, toujours en virage à droite. Le nez de l'hélicoptère heurte ensuite frontalement un rocher, ce qui fait pivoter la cellule vers l'avant, entraîne la rupture de la partie arrière de l'appareil et le heurt du rotor principal avec le sol. La partie arrière de l'appareil poursuit sa course et atterrit sur le chemin situé 35 m en contrebas. La cellule et le rotor principal font un ou plusieurs tonneaux dans le sens horaire autour de l'axe de roulis. Ils finissent leur course sur le chemin, à quelques mètres de la partie arrière de l'appareil.

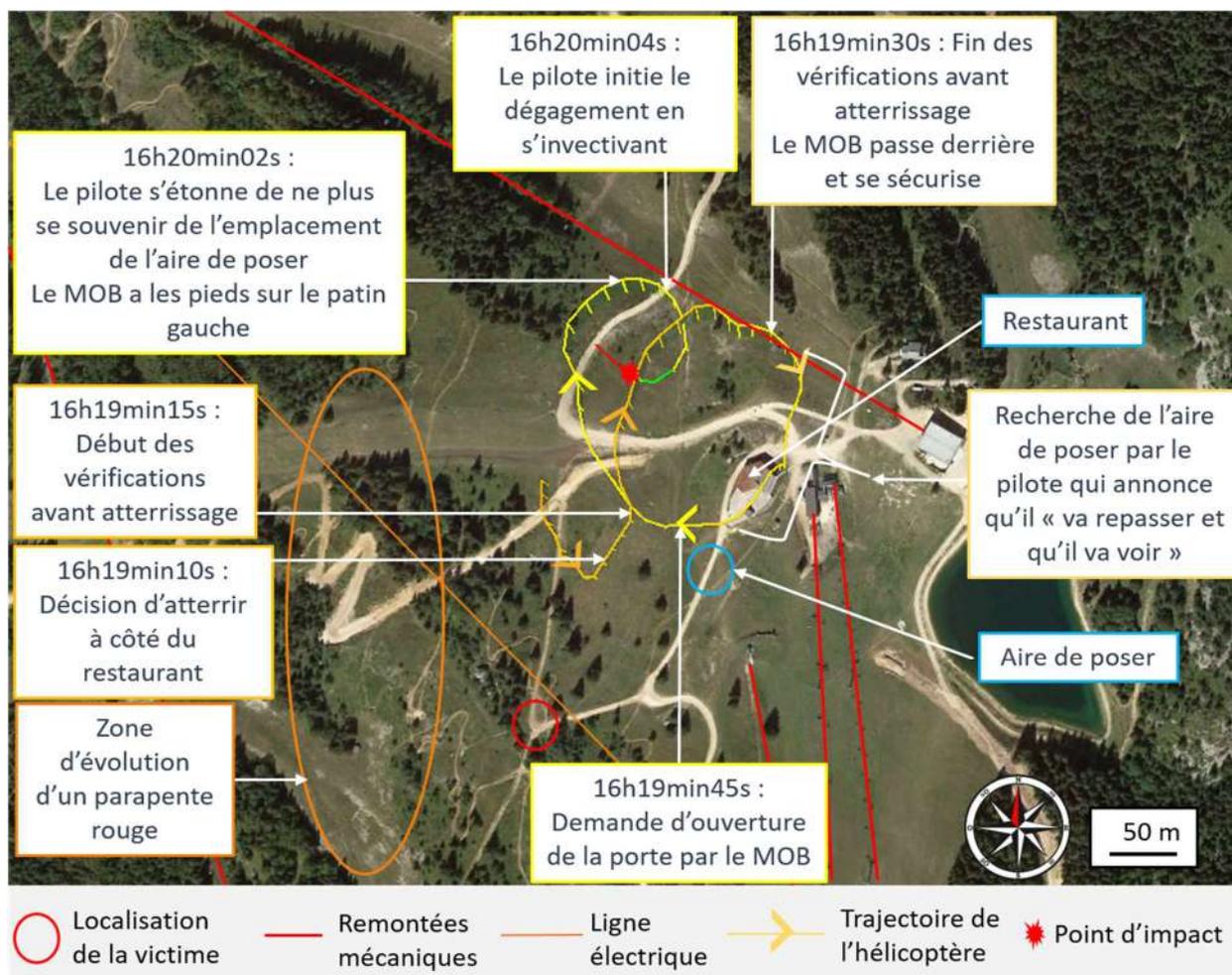


Figure 3 : fin du vol

1.1.3. Localisation

– Lieu :

- pays : France
- département : Isère (38)
- commune : Villard-de-Lans
- coordonnées géographiques : N 45°02'23" / E 005°34'08"
- altitude du point d'impact : 1 493 m

– Moment : de jour

– Aérodrome le plus proche au moment de l'évènement : Grenoble Le Versoud dans l'azimut 048° pour 16 Nm

1.2. Dommages corporels

Blessures	Membres d'équipage
Mortelles	1
Graves	1
Légères	3

1.3. Dommages à l'aéronef

L'aéronef est détruit.

1.4. Autres dommages

Sans objet.

1.5. Renseignements sur l'équipage

1.5.1. Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1. Pilote commandant de bord

- Âge : 50 ans
- Unité d'affectation : BH38 depuis le 1^{er} novembre 2017
- Formations :
 - écoles de spécialisation : escadrille de spécialisation sur hélicoptères embarqués de la Marine nationale en 1996 et 1997 puis centre de formation du groupement d'hélicoptères de la sécurité civile (GHSC) en 2014
 - qualifications : qualification de type EC 145 et qualification haute montagne en décembre 2017
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont EC 145	sur tout type	dont EC 145	sur tout type	dont EC 145
Total (h)	6 032	1 880	133	133	28	28
Dont montagne	982	786	90	90	22	22

- Date du précédent vol sur l'aéronef et en montagne : 12 septembre 2021
- Date du dernier vol d'instruction en montagne : 8 février 2021

1.5.1.2. Mécanicien opérateur de bord

- Âge : 42 ans
- Unité d'affectation : BH38 depuis le 1^{er} avril 2015
- Formations :
 - école de spécialisation : centre de formation du groupement d'hélicoptères de la sécurité civile (GHSC) en 2005 (mécanicien sol) et en 2013 (MOB)
 - qualifications : qualification de type EC 145 en avril 2005 et opérateur de bord en octobre 2013, stage d'adaptation montagne en décembre 2013
- Heures de vol comme MOB :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont EC 145	sur tout type	dont EC 145	sur tout type	dont EC 145
Total (h)	2 127	2 127	127	127	17	17
Dont montagne	1 302	1 302	93	93	11	11

- Date du précédent vol sur l'aéronef et en montagne : 12 septembre 2021
- Date du dernier vol d'instruction en montagne : 7 juin 2021

1.5.2. Autres membres d'équipage

1.5.2.1. Premier secouriste

- Âge : 43 ans
- Unité d'affectation : PGHM de l'Isère (38)
- Formations :
 - école de spécialisation : centre national d'instruction au ski et à l'alpinisme de la gendarmerie en 2004
 - qualifications : membre de caravane de secours en montagne depuis 2004, chef des opérations d'enquête et de secours en montagne depuis 2016

- Heures de vol comme secouriste montagne:

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont EC 145	sur tout type	dont EC 145	sur tout type	dont EC 145
Total (h)	403	403	10	10	3	3

- Date du précédent vol sur l'aéronef et en montagne : 12 septembre 2021

1.5.2.2. Second secouriste

- Âge : 36 ans
- Unité d'affectation : PGHM de l'Isère (38)
- Formations :
 - école de spécialisation : centre national d'instruction au ski et à l'alpinisme de la gendarmerie en 2016
 - qualifications : membre de caravane de secours en montagne depuis 2016
- Heures de vol comme secouriste :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont EC 145	sur tout type	dont EC 145	sur tout type	dont EC 145
Total (h)	41	41	23	23	10	10

- Date du précédent vol sur l'aéronef et en montagne : 12 septembre 2021

1.5.2.3. Médecin

- Âge : 58 ans
- Unité d'affectation : service d'aide médicale d'urgence (SAMU) du CH de Grenoble
- Formations :
 - école de spécialisation : faculté de médecine de Lyon
 - qualification : médecin spécialisé au secours en montagne
 - année de sortie d'école : 1992

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : DGSCGC
- Commandement d'appartenance : GMA
- Aérodrome de stationnement : Grenoble Le Versoud
- Unité d'affectation : BH38
- Type d'aéronef : BK117 « EC 145 – C2 »
 - version montagne (patins courts), médicalisée
 - treuil à gauche, banquette « trois places » à droite, civière à gauche

	Type-série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis dernière visite (100 h)	Heures de vol depuis intervention réglage régulation moteur à Nîmes
Cellule	EC 145 – C2	9217	6 185	81	3h27
Moteur gauche	ARRIEL 1 E2 P/N 0292000800	18161	3 710	81	3h27
Moteur droit	ARRIEL 1 E2 P/N 0292005460	18081	7 948	81	3h27

1.6.1. Maintenance

L'examen de la documentation technique témoigne d'un entretien de l'hélicoptère conforme au programme de maintenance en vigueur et aux règles de maintien de la navigabilité. L'équipage a passé la journée du samedi, veille du jour de l'évènement, à Nîmes afin de réaliser un réglage du système de régulation des moteurs et des vols techniques.

1.6.2. Performances

Les performances de l'aéronef dans les conditions du jour sont compatibles avec la réalisation de la mission. Dans ces conditions, la masse maximale pour réaliser un vol stationnaire hors effet de sol est de 3510 kg, offrant une marge d'un peu moins de 300 kg au moment de l'évènement.

1.6.3. Masse et centrage

La masse et le centrage sont dans les normes pendant tout le vol de la mission. Au moment de l'évènement, la masse de l'hélicoptère est de 3228 kg pour un centrage longitudinal légèrement avant de 4458 mm.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : JET A-1
- Quantité de carburant au décollage : 340 kg
- Quantité de carburant au moment de l'évènement : 290 kg

1.6.5. Autres fluides

- L'huile de chaque moteur est de type O-154
- L'huile de la boîte de transmission principale (BTP) est de type O-156
- L'huile de la boîte de transmission intermédiaire et l'huile de la boîte de transmission arrière sont de type ZFN-L3001
- L'huile hydraulique est de type H-515

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

Les prévisions météorologiques, dont celles spécifiques au secteur montagneux, annoncent sur le secteur d'intervention, pour la journée du 12 septembre, un temps très ensoleillé de fin d'été avec des températures de saison et un vent faible de secteur ouest.

1.7.2. Observations

Sur le secteur de l'intervention à 16h15, la température est de 21°C à 1500 m d'altitude. Le vent général est faible du secteur ouest-nord-ouest. La visibilité est supérieure à 10 km et le temps est ensoleillé. Une brise de pente soufflant du nord-nord-ouest pour une dizaine de nœuds remonte depuis le Balcon de Villard jusqu'au secteur d'intervention.

1.8. Aides à la navigation

L'équipage utilise le système de gestion de la navigation de l'hélicoptère pour localiser la victime à l'aide des coordonnées transmises par le CODIS et par la permanence du secours en montagne au PGHM.

1.9. Télécommunications

Tous les équipements de télécommunications à bord de l'appareil fonctionnent correctement.

Lors de la phase de secours, DRAGON 38 est en auto-information sur la fréquence montagne (130,000 Mégahertz). Il reste en liaison avec le CODIS via le réseau Antares².

L'équipage est en contact avec les secouristes sur la fréquence radio tactique autonome dédiée (réseau associatif : sécurité Dauphiné), également veillée aux postes de permanence des secouristes du massif alpin.

1.10. Renseignements sur l'aéroport

Sans objet.

² Antares : adaptation nationale des transmissions aux risques et aux secours, réseau numérique de télécommunications des services publics français pour les missions de sécurité civile.

1.11. Enregistreurs de bord

L'EC 145 est équipé :

- d'un enregistreur de voix et de données de vol (CVFDR³) ;
 - d'un enregistreur de données de maintenance, le système HUMS⁴ (*Health and usage monitoring system*).
- Seul le CVFDR a pu être récupéré et exploité.

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

1.12.1. Examen de la zone d'accident

La zone de l'accident est un compartiment de terrain circonscrit à l'ouest et au sud par une piste praticable en véhicule tout terrain, et au nord et à l'est par une remontée mécanique. Celle-ci relie le Balcon de Villard (1160 m d'altitude) et un plateau intermédiaire situé à 1519 m d'altitude. Sur celui-ci se trouvent un restaurant et des départs d'autres remontées mécaniques. Entre le bas de la zone où repose l'épave à 1480 m d'altitude et la partie de la piste bordant la zone, 100 m plus au sud-est, il y a 20 m de dénivelé, soit 20% de pente descendant vers le nord-ouest. La zone d'impact de l'hélicoptère avec le sol se situe dans cette partie de terrain herbeuse comportant quelques arbustes. Cette zone forme une bosse alignée sur une légère ligne de crête orientée dans l'axe du gradient général de la pente. En bas de la zone d'accident, cette bosse herbeuse se termine par une marche d'environ 80 cm aboutissant à la piste où gît l'épave.



Figure 4 : présentation de la zone de l'accident

Le point d'impact initial de l'hélicoptère avec le sol se matérialise par une trace dans la terre d'une quinzaine de centimètres de large et d'environ 15 centimètres de profondeur, sur 10 mètres de longueur, orientée à un azimut moyen de 290° et légèrement courbe. Cette trace correspond à l'empreinte du patin droit de

³ CVFDR : *cockpit voice and flight data recorder* – enregistreur de voix et de données de vol.

⁴ Le système HUMS assure la surveillance de l'état du système en temps réel, le suivi des paramètres de maintenance et le vieillissement de l'aéronef.

l'hélicoptère, entré en premier en contact avec le sol. À proximité de cette trace se trouve le déflecteur de câble du patin droit, arraché au contact d'une pierre présente sous la surface du sol au niveau de la trace.

En poursuivant sensiblement dans l'axe de progression de l'hélicoptère, sur environ quatre mètres, se trouve une trace dans le sol peu profonde et plus large que la précédente, correspondant au contact du nez de l'appareil. Elle se termine à un endroit où affleure un rocher que le nez de l'hélicoptère est venu heurter. Sur la gauche de cette trace se trouve le coupe-câble inférieur de l'appareil, planté dans le sol.

Juste après et sur la droite de l'axe initial, on trouve plusieurs tranchées bien nettes dans la terre, perpendiculaires à l'axe de la trace du patin droit, parallèles entre elles et rapprochées, engendrées par le contact du rotor principal avec le sol.

On trouve ensuite, en progressant sur un axe reliant l'impact du nez de l'hélicoptère avec le lieu où se trouve l'épave, une zone d'herbe coupée avec un angle à 45°, puis une grosse trace d'impact d'une partie de la cellule de l'hélicoptère. Sur la droite de ces traces, à environ trois mètres, se trouve l'arbre de transmission arrière en deux parties, dont l'une est tordue, dans un arbuste. De nombreuses branches de celui-ci sont coupées nettes, juste à côté de la partie tordue de l'arbre de transmission.

Trois mètres avant la marche de terrain qui conduit à la piste se trouvent deux traces rectilignes dans la végétation, correspondant aux traces laissées par les plans fixes verticaux de la partie arrière de l'appareil. Celle-ci repose sur la piste, trois mètres plus loin.

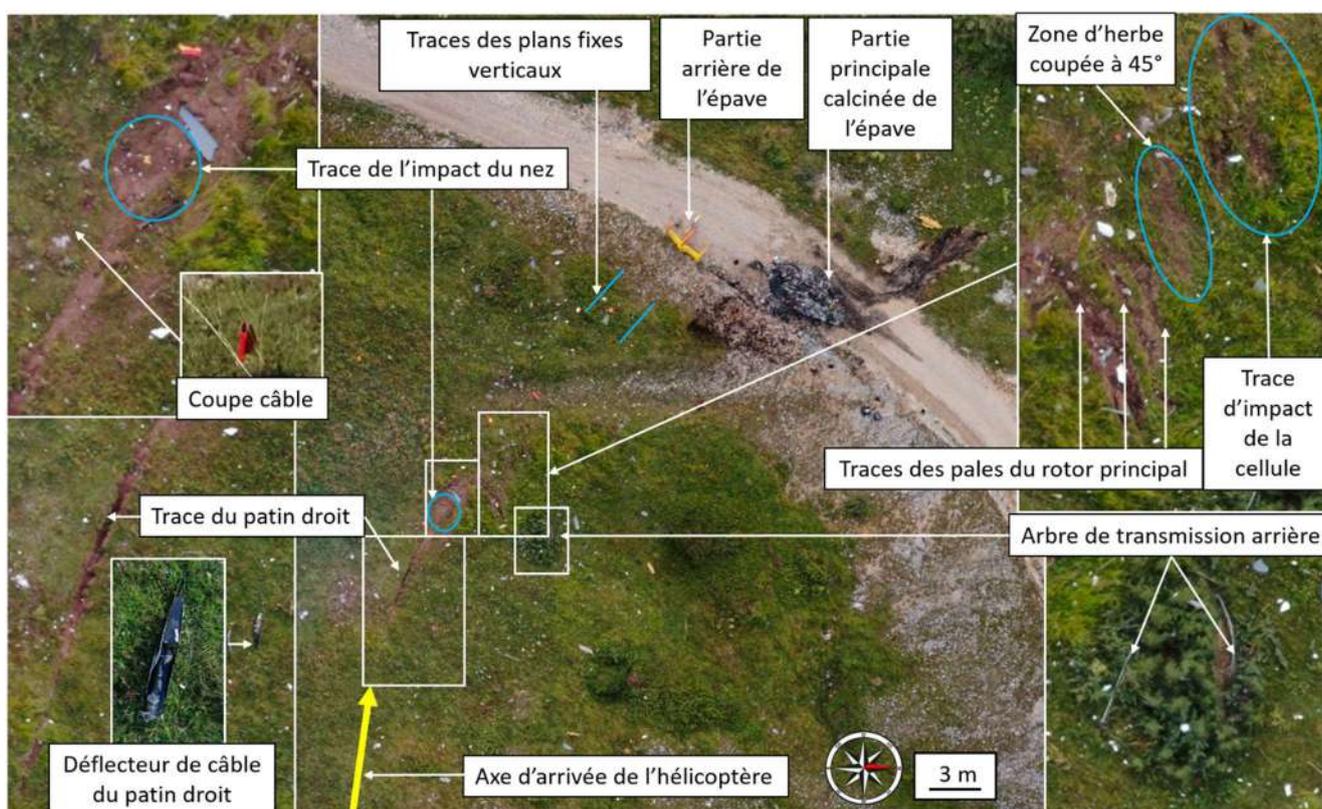


Figure 5 : zone de l'impact

1.12.2. Examen de l'épave

L'épave est en deux morceaux principaux se situant sur la piste, en contrebas du point d'impact de l'hélicoptère avec le sol. La partie principale de l'épave est entièrement calcinée. La position des éléments de l'épave identifiables, dont le patin gauche, atteste de la position de l'épave avant qu'elle ait pris feu. Des traces de l'incendie, de la largeur de l'épave, sont visibles sur environ deux mètres de distance, sur la partie de terrain surplombant celle-ci. Sur la partie de chemin et de terrain située en contrebas de l'épave, on trouve des traces de carburant ayant brûlé et un morceau de cellule de la poutre de queue endommagé mais non brûlé.

La partie arrière de la poutre de queue comportant le pylône, les plans fixes horizontaux et verticaux et le rotor anti-couple repose, presque intacte, à quelques mètres de la partie calcinée. Les plans fixes verticaux sont endommagés en plusieurs endroits, notamment sur leurs extrémités, tout en conservant leur forme

originelle. Les débris de pales retrouvés à la base de la pièce, au niveau de la jonction avec la poutre de queue, témoignent d'un contact avec le rotor principal.



Figure 6 : zone de l'épave

1.13. Renseignements médicaux

1.13.1. Membres d'équipage de conduite

1.13.1.1. Pilote commandant de bord

- Dernier examen médical : expertise en centre d'expertise médicale du personnel navigant (CEMPN) le 8 décembre 2020
 - type : classe 1⁵
 - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : légères

1.13.1.2. Mécanicien opérateur de bord

- Dernier examen médical : expertise en CEMPN le 10 novembre 2020
 - type : classe 1
 - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : mortelles

⁵ Conforme à la Part-MED du règlement européen (UE) n° 1178/2011 du 3 novembre 2011 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables au personnel navigant de l'aviation civile conformément au règlement (CE) n° 216/2008 du Parlement européen et du Conseil européen.

1.13.2. Autres membres d'équipage

1.13.2.1. Premier secouriste

- Dernier examen médical : 21 septembre 2020
 - type : visite médicale périodique
 - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : légères

1.13.2.2. Second secouriste

- Dernier examen médical : 8 février 2021
 - type : visite médicale périodique
 - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : légères

1.13.2.3. Médecin

- Dernier examen médical : 15 mai 2016
 - type : médecine du travail
 - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : graves

1.14. Incendie

La partie principale de l'hélicoptère, reposant sur son flanc gauche, nez orienté vers le sud-sud-ouest, prend feu à 16h22, quelques instants après s'être immobilisée. Les deux bouteilles d'oxygène présentes à bord explosent quelques minutes après le début de l'incendie. Un véhicule de secours et d'assistance aux victimes (VSAV) arrive du centre de secours de Villard-de-Lans à 16h49, accompagné d'un camion-citerne à 16h50. Le feu est éteint à 17h05. La partie principale de l'hélicoptère est entièrement calcinée. Seule la partie arrière, désolidarisée de l'hélicoptère pendant la collision de celui-ci avec la pente, repose intacte à quelques mètres de l'épave.



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

1.15.1. Survie des occupants et évacuation de l'hélicoptère

Au moment de la collision de l'hélicoptère avec la pente, le pilote est en place avant droite, harnaché sur son siège avec son casque de vol. La porte arrière gauche est ouverte et verrouillée tandis que le MOB a les pieds sur le patin gauche, debout ou assis face à l'extérieur, avec son casque de vol. Il est sécurisé par une longe de deux mètres de longueur, reliée à un point d'ancrage situé au plafond de la cabine, juste derrière les sièges avant. Le premier secouriste est assis dans le sens de la marche, sur un sac au milieu et à l'arrière de la soute cargo. Il appuie son coude gauche sur la civière attachée contre le côté gauche de l'appareil. Le second secouriste est assis également dans le sens de la marche derrière le siège pilote, sur la première place de la banquette « trois places », installée sur le côté droit de la soute cargo. Le médecin est assis sur la place du milieu de cette même banquette. Les deux secouristes et le médecin sont casqués et sécurisés par leur longe respective d'environ 80 cm de longueur, accrochées à la ligne de vie, elle-même fixée au pied de la banquette « trois places ».

Juste avant l'impact, le second secouriste s'accroche probablement par la main droite à une poignée située sur le côté droit de la soute cargo tandis que les autres conservent vraisemblablement leur position. Le MOB décède lors de la collision. Le médecin et le pilote perdent vraisemblablement connaissance au même instant. Les deux secouristes restent conscients alors que la cellule fait un ou plusieurs tonneaux autour de son axe de roulis dans le sens horaire, avant de s'immobiliser sur son flanc gauche sur le chemin situé en contrebas du lieu d'impact.

Au sol, le pilote reprend connaissance, pendu dans son harnais, se détache et évacue l'appareil par l'avant puis tente d'assister le MOB inconscient. Voyant que les moteurs tournent encore et que l'arrière de l'appareil commence à prendre feu, il retourne à l'intérieur pour couper les moteurs sans y parvenir. Concomitamment, le premier secouriste pendu à sa longe entre le sol et le flanc gauche de l'appareil, avec le médecin inconscient sur lui, coupe les longes qu'il voit à l'aide d'un « coupe sangles » personnel, tandis que le second secouriste, encore dans la soute cargo, détache les trois longes de la ligne de vie, à l'aide des systèmes de décrochage rapide (*quick release device* – QRD) servant d'interface entre les longes et la ligne de vie. Il s'extrait ensuite de l'appareil et aide son camarade valide. Constatant les flammes naissantes, ils évacuent le médecin, qui se réveille à ce moment, et le déplacent vers l'amont du chemin à proximité immédiate de l'appareil. Le pilote et le second secouriste évacuent le MOB et le couchent à proximité du médecin.

1.15.2. Organisation des secours

Dans les deux premières minutes après l'accident, une fois l'évacuation de l'appareil réalisée, des témoins aident les membres d'équipage valides à transporter le médecin gravement blessé et le MOB à une trentaine de mètres de l'appareil qui prend feu. Le pilote réalise un massage cardiaque sur le MOB pendant que le second secouriste alerte le PGHM du Versoud. Ce dernier fait appel à l'EC 145 du détachement aérien de gendarmerie de Modane alors en mission. Le premier secouriste, qui a très mal à la tête et se sent mal va s'allonger en position latérale de sécurité un peu plus haut.

Le second secouriste revient ensuite à l'appareil pour récupérer le sac d'intervention du médecin et le donne à une infirmière présente sur les lieux pour qu'elle puisse tenter la réanimation du MOB.

Le médecin, conscient, demande alors au second secouriste de s'occuper et de médicaliser le premier secouriste à l'aide de l'infirmière et à des témoins de masser le MOB. Il passe ensuite un appel à la régulation du service d'aide médicale d'urgence (SAMU) de l'Isère (38) pour transmettre un premier bilan médical à 16h29. Le premier secouriste est ensuite conditionné pour être évacué.

En parallèle, dès 16h20, le CODIS 38 est alerté de l'accident de l'EC 145 par des appels de témoins. Les centres de secours environnants dont celui de Villard-de-Lans sont immédiatement engagés sur l'accident.

À 16h25 le centre opérationnel de la zone (COZ) sud-est est alerté par le CODIS 38. Il prévient le centre de coordination de sauvetage (CCS) de Lyon. Ce dernier reçoit concomitamment le message d'avis d'émission de la balise de détresse de l'hélicoptère ainsi que sa position GPS et déclenche une opération de recherche et de sauvetage (*search and rescue* – SAR). Il engage à ce titre l'EC 145 de la sécurité civile de la BH de Lyon.

À 16h49, un premier VSAV et un camion-citerne arrivent sur le site suivis de l'hélicoptère du SAMU 38. Le médecin et l'infirmier qui en descendent tentent une dernière réanimation sur le MOB et constatent son décès. Pendant ce temps, l'hélicoptère (SAMU 38) évacue le premier secouriste et le pilote vers le CHU nord de Grenoble. L'équipe médicale prend ensuite en compte le médecin à l'aide des pompiers en vue de son

évacuation. À 17h, l'EC 145 de la gendarmerie de Modane arrive sur zone avec un médecin qui s'occupe du second secouriste. À 17h05, le feu est éteint. Une dizaine de minutes plus tard, l'hélicoptère du SAMU 38 est de retour avec une autre équipe médicale puis évacue le médecin vers le CHU nord de Grenoble. À 17h22, l'EC 145 de la sécurité civile de Lyon arrive sur les lieux avec le chef de la BH 38 qui assure la coordination de l'activité aérienne. Vers 17h48, il évacue le MOB au CHU nord, tandis que l'EC 145 de la gendarmerie évacue le second secouriste vers le CH nord, accompagné de l'hélicoptère du SAMU 38. Le vététiste blessé est évacué vers le CHU nord de Grenoble par VSAV à 17h.

1.16. Essais et recherches

RESEDA a exploité les données du CVFDR.

SHE a expertisé les paramètres moteurs.

AH a expertisé les paramètres de vol et l'aérodynamique du rotor de l'hélicoptère au cours du vol.

Météo-France a réalisé une expertise sur les conditions aérologiques présentes au moment de l'accident.

DGA EV a réalisé une expertise sur les conditions aérodynamiques du rotor principal de l'hélicoptère dans les instants précédant l'accident.

DGA TA a étudié la cinématique de l'hélicoptère après sa collision avec le sol.

Iwiation GmbH a réalisé une modélisation du vent et une reconstitution en trois dimensions de l'accident.

L'IRBA a réalisé l'expertise sur les facteurs organisationnels et humains.

1.17. Renseignements sur les organismes

1.17.1. Base d'hélicoptères de l'Isère

Les hélicoptères de la sécurité civile sont regroupés au sein du GMA, dans le groupement des hélicoptères de la sécurité civile (GHSC).

Le GHSC comprend un échelon de direction, qui assure depuis la base de Nîmes le commandement, la coordination et la mise en condition des moyens alloués aux bases d'hélicoptères. Son autorité s'exerce sur vingt-trois bases d'hélicoptères (sites permanents) et cinq détachements saisonniers.

La base d'hélicoptères du département de l'Isère (BH38) est implantée sur l'aérodrome de Grenoble Le Versoud, à l'est de Grenoble, et met en œuvre un EC 145 toute l'année, ainsi qu'un deuxième appareil à partir de l'Alpe d'Huez en haute saison (armé en 2021 jusqu'au 31 août). Sa zone habituelle d'intervention comprend quatre départements : Hautes-Alpes, Drôme, Isère, Savoie. Elle est en capacité d'intervenir en renfort au-delà de ces départements. Cinq pilotes dont le chef de base et cinq MOB dont le chef mécanicien y sont affectés. Les équipages de la BH38 exécutent chaque année environ 1500 interventions et 1600 treuillages.

Pour ses interventions de secours en montagne, la BH38 se réfère au plan départemental du secours en montagne du département concerné et à l'ordre zonal d'opérations de la sécurité civile pour les zones sud-est et sud.

Un accord de la BH38 avec les secouristes montagne dont ceux du PGHM et le SAMU permet que deux secouristes et un médecin, appelés équipiers ou partenaires, soient en alerte à la BH38 en permanence avec un pilote et un MOB de la sécurité civile.

1.17.2. PGHM de l'Isère

Les PGHM sont les unités de la gendarmerie nationale spécialisées dans les opérations de sécurité en montagne, parmi lesquelles les opérations de secours.

Le PGHM de l'Isère est basé sur l'aérodrome de Grenoble Le Versoud à quelques centaines de mètres de la BH38. Ses gendarmes sont des spécialistes des interventions en haute montagne et interviennent notamment dans le cadre d'opérations de secours régies par les plans de secours en montagne des départements concernés. Ils font appel à l'hélicoptère de la BH38 pour la majeure partie des interventions, lorsqu'il est nécessaire dans la manœuvre. Le PGHM de l'Isère intervient en alternance hebdomadaire avec la section grenobloise de la compagnie républicaine de sécurité des Alpes sur le département de l'Isère en tant qu'unité spécialisée de secours en montagne, sur le département de la Drôme et ponctuellement en renfort dans les départements voisins.

1.17.3. Service d'aide médicale d'urgence

Le SAMU de l'Isère, installé au CH de Grenoble, a pour mission d'apporter la réponse la mieux adaptée dans les meilleurs délais aux situations d'urgence médicale. Il travaille en collaboration permanente avec le CODIS 38, la BH38, et les unités spécialisées dans le secours en montagne.

Afin de répondre au déclenchement d'opérations de secours hélicoptères, un médecin spécialisé « montagne » du SAMU assure une permanence à la BH38, dans les mêmes conditions que l'équipage de cette unité. Pour réaliser certaines de ses missions d'évacuation ou de transport sanitaire, le SAMU 38 dispose d'un hélicoptère privé mis à disposition dans le cadre d'un contrat de service public administré par l'agence régionale de santé.

1.17.4. Centre opérationnel départemental d'incendie et de secours

Le CODIS est une structure départementale qui supervise et coordonne l'ensemble de l'activité opérationnelle d'un service départemental d'incendie et de secours.

Le CODIS est chargé de déclencher les opérations des hélicoptères de la sécurité civile dans son département. Lorsque l'intervention sort des limites du département de l'Isère (38), elle est coordonnée par le COZ de la zone de défense et de sécurité sud-est.

1.17.5. Centre opérationnel de zone

Le COZ de la zone sud-est se trouve à Lyon et coordonne l'ensemble des moyens de sa zone de défense et de sécurité pour des opérations de sécurité civile dépassant un seul département et les prérogatives d'un seul CODIS. Le COZ engage notamment les renforts nécessaires venant d'autres départements tels que les hélicoptères.

1.17.6. Centre de coordination et de sauvetage

Le centre de coordination et de sauvetage (*aeronautical rescue coordination center*) est basé à Lyon-Mont Verdun. Il est chargé de déclencher et coordonner les moyens aériens en cas d'incidents ou d'accidents aériens.

2. ANALYSE

2.1. Expertises techniques

2.1.1. Examen des moteurs et des paramètres associés

L'examen des moteurs a montré qu'ils étaient structurellement intègres et qu'ils ont subi des dommages exclusivement attribuables aux conséquences de l'accident.

L'examen des moteurs et l'analyse des données enregistrées dans le CVFDR ont montré que les moteurs fournissaient de la puissance pendant le vol et jusqu'au moment de l'impact de l'appareil avec le sol. De plus, les moteurs étaient sous le contrôle automatique de leur système de régulation pendant tout le vol.

L'examen des moteurs et des paramètres associés a montré qu'ils fonctionnaient normalement jusqu'à la collision de l'hélicoptère avec le sol.

2.1.2. Analyse des données de vol

L'analyse des données de vol permet de faire les constats suivants :

- aucune alarme provoquée par un dysfonctionnement technique ou un dépassement de paramètre n'est relevée avant l'instant du contact de l'hélicoptère avec le sol ;
- les paramètres d'attitude de l'hélicoptère sont en parfaite corrélation avec les actions aux commandes relevées et l'hélicoptère est piloté normalement jusqu'à son contact avec le sol ;
- les actions aux commandes relevées en roulis, tangage, lacet et au pas collectif montrent qu'une marge significative est préservée vis-à-vis des butées de ces commandes tout au long du vol et jusqu'au contact de l'hélicoptère avec le sol ;
- les valeurs du couple de transmission enregistrées passent de 70% à 90% dans les trois dernières secondes, induisant un dépassement de la valeur de puissance maximale autorisée au décollage (88%), quelques dixièmes de seconde avant la collision. En extrapolant la courbe jusqu'au moment de la collision, il est probable que les couples ont atteint une valeur supérieure ou égale à 95% au moment de la collision ;
- au cours de la dernière manœuvre de dégagement, qui dure six secondes et conduit à la collision de l'hélicoptère avec le sol, ce dernier perd 20 m de hauteur. Si l'altitude du terrain avait été moindre au niveau du point d'impact, l'hélicoptère aurait perdu 22,2 mètres lors du dégagement.

L'hélicoptère n'a pas subi de problème technique et a été piloté normalement et sans atteinte des butées de commandes jusqu'au sol. L'augmentation de la puissance avant la collision provoque un dépassement de la valeur de puissance maximale autorisée pendant quelques dixièmes de secondes. L'hélicoptère aurait perdu 22,2 m de hauteur au cours du dégagement s'il n'avait pas heurté le sol 2,2 m plus haut.

2.1.3. Analyse de l'aérologie

Au moment de l'évènement, des parapentistes survolent la pente du secteur d'intervention de l'hélicoptère. Les parapentistes ne relèvent que peu d'ascendance thermique mais une brise de pente soufflant du nord-ouest, leur permettant d'évoluer à iso altitude.

Par ailleurs, les éléments fournis par Météo-France, à partir des modèles disponibles, permettent d'estimer une brise de pente soufflant du nord-ouest pour 8 kt, entre le sol et 100 m de hauteur, au moment de l'intervention de l'hélicoptère sur le secteur.

Enfin, le calcul de l'orientation et de la force de la brise de pente, à partir des fumées visibles sur une vidéo de l'épave de l'hélicoptère en feu, trois minutes après l'accident, donne un vent soufflant du 340° pour 7 à 8 kt.

D'après les différentes expertises réalisées, le vent estimé au moment de l'évènement souffle du 340°, le long de la pente, pour une force de 7 à 8 kt.

2.1.4. Recherche d'un état de vortex

Le vortex est un phénomène aérodynamique qui peut se manifester sur tous les types d'hélicoptères. Il se caractérise par un taux de descente qui augmente brusquement et rapidement pour une puissance moteur constante. L'hélicoptère s'enfonce dans son propre flux d'air alors que sa propulsion continue de fonctionner nominalement. Les pales tournent alors dans leurs propres remous et l'air forme un anneau tourbillonnaire qui isole partiellement le rotor. Ce dernier n'est plus traversé par le flux d'air nécessaire à la sustentation de l'hélicoptère et cette masse d'air isolée accompagne l'aéronef dans sa chute. Le phénomène de vortex induit également une diminution importante de l'efficacité des commandes de l'hélicoptère. Le seul moyen de sortir du vortex est de quitter l'état tourbillonnaire par une action franche au manche cyclique.

Ce phénomène assez rare se produit à des vitesses faibles, quand un flux d'air venant de l'aval du rotor vient s'opposer au flux d'air généré par la portance du rotor (flux circulant de son amont vers son aval à la vitesse induite⁶). Pour atteindre les conditions théoriques d'entrée, la vitesse du flux d'air opposé au flux induit par la portance doit atteindre une certaine plage de valeur variable en fonction de la valeur de vitesse induite. Une telle situation peut être générée par le taux de descente de l'hélicoptère et/ou par un vent soufflant depuis l'aval du rotor vers son amont. Cette dernière situation peut se produire en montagne lors d'une approche en palier avec un vent arrière remontant une pente.

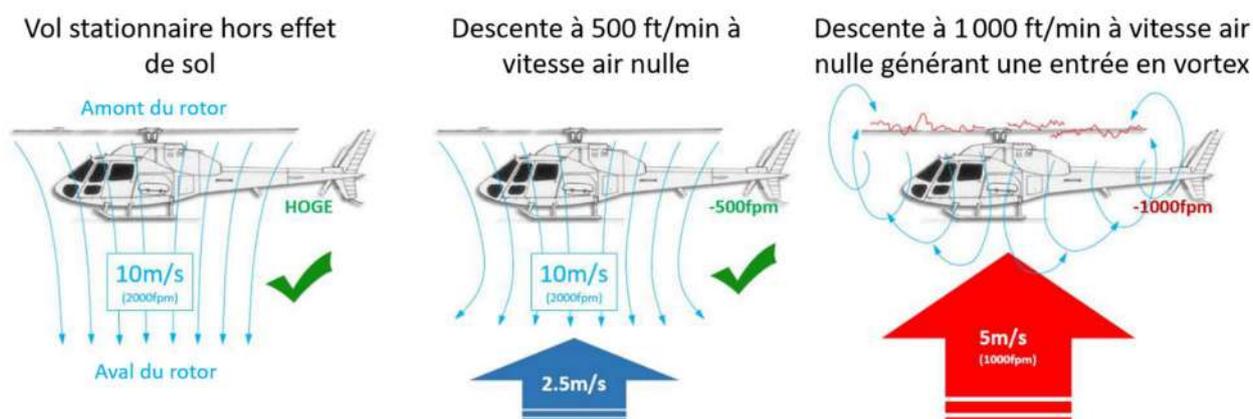


Figure 8 : génération d'un état de vortex en hélicoptère par installation d'un taux de descente

Dans le cas présent, l'analyse de l'accélération verticale enregistrée 10 fois par seconde démontre qu'il n'y a pas eu d'enfoncement caractéristique d'une entrée en vortex dans la phase finale du vol. De plus, aucune perte d'efficacité des commandes de l'hélicoptère n'a été constatée.

DRAGON 38 n'est pas entré en vortex lors du vol de l'évènement.

2.2. Séquence de l'évènement

L'intervention de DRAGON 38 se déroule en cinq phases caractéristiques, d'une durée totale de quatre minutes : l'arrivée sur le secteur de l'intervention, la recherche de la victime, le choix de la solution d'intervention, la préparation de l'atterrissage et l'altération finale de la trajectoire conduisant à l'accident.

2.2.1. Arrivée sur le secteur d'intervention

Elle a lieu entre 16h16min12s et 16h17min30s.

Cette phase est principalement dédiée à repérer et annoncer les parapentes présents sur le site, ces derniers pouvant constituer un danger pour l'intervention. Le pilote annonce la présence d'une ligne électrique en réduisant la vitesse vers 45 kt et survole le restaurant à 300 ft.

⁶ La vitesse induite est la vitesse verticale de l'air créée par une discontinuité de pression au niveau du disque rotor. C'est la vitesse verticale transmise à l'air par la portance des pales et qui crée un flux d'air circulant du haut vers le bas du disque rotor.

2.2.2. Recherche de la victime

- 16h17min34s : le second secouriste la repère et l'annonce sur le travers droit de l'hélicoptère tandis que le reste de l'équipage la localise aussi. Le pilote est focalisé sur les parapentes ;
- 16h17min40s : le pilote vire à droite et passe à la verticale de la victime sans la voir, en évitant un parapente croisant à 125 m de l'hélicoptère ;
- 16h17min49s : le pilote demande où est la victime et annonce qu'il ne l'a pas vue ;
- 16h17min50s à 16h18min : DRAGON 38 s'éloigne ensuite vers le nord le long de la pente en reprenant de la vitesse jusqu'à 60 kt. Le médecin et les secouristes expliquent au pilote où se trouve la victime en attirant son attention sur les parapentes gênants situés à sa verticale ;
- 16h18min à 16h18min15s : le pilote demande au MOB si c'est clair à gauche puis vire à gauche, face à la vallée, en réduisant sa vitesse tandis que le MOB surveille les parapentes. Le médecin annonce que la victime se trouve sous les parapentes ;
- 16h18min15s à 16h18min46s : DRAGON 38 progresse avec une vitesse sol de 20 kt et une vitesse indiquée nulle en palier vers le secteur où se trouve la victime, selon un axe convergent de 30° avec le versant. Il annonce son axe de dégagement à droite alors que le MOB et les autres occupants de l'hélicoptère lui indiquent le positionnement de la victime, sous la ligne électrique ;
- 16h18min50s : le pilote annonce avoir localisé la victime.

2.2.3. Choix de la solution d'intervention

Pendant les 20 secondes suivantes, l'équipage réfléchit aux solutions de dépose du médecin et des secouristes et fait son choix. Le MOB propose d'atterrir et de couper les moteurs sur la zone située à l'avant gauche de l'hélicoptère, à proximité du restaurant et le pilote évoque l'opportunité de réaliser un appui-patin dans la pente, au plus près de la victime. L'hélicoptère progresse désormais presque face à la pente à 15 kt de vitesse sol et 100 ft de hauteur. Le pilote vire ensuite par la gauche, vers le nord, en reprenant un peu de vitesse indiquée jusqu'à 30 kt, puis annonce sa décision d'aller poser à côté du restaurant.

2.2.4. Préparation de l'atterrissage

- 16h19min14s : le MOB débute les vérifications avant atterrissage et demande au pilote de conserver son regard à l'extérieur de l'appareil pendant qu'il lit la check-list. DRAGON 38 vire à droite vers le restaurant, toujours à basse vitesse, en conservant 100 ft de hauteur ;
- 16h19min29s : le MOB annonce qu'il passe derrière et se sécurise. Le pilote acquiesce ;
- 16h19min31s à 16h19min43s : le pilote annonce qu'il ne se rappelle plus où est la zone alors qu'il s'approche du restaurant à 80 ft de hauteur. Le MOB lui répond qu'elle est derrière le restaurant, légèrement sur la droite. Le pilote ne situant pas la zone précise de poser redemande et le MOB lui annonce que l'hélicoptère passe à proximité de la verticale de celle-ci. Le pilote vire à droite après la verticale du restaurant en annonçant qu'il « va repasser et qu'il va voir » ;
- 16h19min45s : Le MOB annonce qu'il est sécurisé à l'arrière et demande l'autorisation d'ouvrir la porte arrière gauche tandis que DRAGON 38 s'éloigne vers la vallée en légère descente, à 25 kt de vitesse indiquée. Le pilote l'autorise à ouvrir la porte ;
- 16h19min50s : le MOB ouvre la porte et annonce que tout le monde est attaché ;
- 16h19min54s à 16h20min00s : le pilote vire à droite en palier, à une vitesse indiquée de 25 kt, avec une assiette positive stable de 6° et une augmentation du roulis jusqu'à 22°. À la fin de cette phase, la zone d'atterrissage se trouve sur le travers droit du pilote ;
- 16h20min00s : l'assiette et l'inclinaison à droite augmentent ;
- 16h20min02s : le pilote débute une phrase pour s'étonner à voix haute de ne pas se souvenir de la localisation précise de la zone d'atterrissage ;
- 16h20min03s : l'assiette positive atteint 13° et l'inclinaison en roulis à droite 29°.

2.2.5. Dégagement

- 16h20min04s : le pilote interrompt sa phrase. Il déplace le manche cyclique vers la droite en exprimant sa surprise et son indignation vis-à-vis de son pilotage à deux reprises, face à la découverte soudaine de la vitesse indiquée nulle de l'hélicoptère ;
- 16h20min04s à 16h20min07s : l'inclinaison en roulis augmente de 29 à 50 degrés. Le taux de descente de l'hélicoptère s'accroît rapidement. Le pilote commence à tirer sur le pas collectif ;
- 16h20min08s : le pilote exprime sa surprise et son impuissance à contrer l'enfoncement de l'hélicoptère ;
- 16h20min09s : le pilote tire plus franchement sur le pas collectif alors que le taux de descente atteint 1 230 ft/min. Il réduit progressivement l'inclinaison à droite, amorçant une sortie de virage ;
- 16h20min10s : l'hélicoptère heurte le sol à une altitude de 1 493 m, avec une vitesse sol de 37 kt, un taux de descente de 870 ft/min et une inclinaison à droite de 31°.

2.3. Recherche des causes de l'évènement

2.3.1. Décision de réaliser un dégagement

2.3.1.1. Situation aérodynamique

Les expertises et les courbes de performance de l'hélicoptère EC 145-C2 montrent qu'une manœuvre de dégagement n'était pas nécessaire pour permettre à l'hélicoptère de poursuivre une évolution en sécurité au moment où cette manœuvre a été initiée. En remettant à plat l'hélicoptère, qui avait 29° d'inclinaison à droite, la puissance disponible était suffisante pour conserver le vol en palier et reprendre de la vitesse.

La situation aérodynamique ne nécessitait pas d'initier un dégagement.

2.3.1.2. Philosophie générale du dégagement

Il est admis que l'on dégage lorsque l'on considère ne pas pouvoir poursuivre sa trajectoire en sécurité, c'est-à-dire à un moment de l'approche où l'on perçoit un élément non conforme à l'attendu. Cet élément peut être un paramètre jugé anormal tel que la vitesse de l'hélicoptère, son taux de chute ou une puissance anormalement élevée pour maintenir une trajectoire saine. Cela peut également être un changement de trajectoire inattendu et soudain de l'hélicoptère, tel qu'un enfoncement ou une montée verticale, du fait d'un facteur externe environnemental (aérodynamique turbulente) ou technique (perte de puissance liée à une défaillance technique). Enfin, le doute quant à la nécessité de dégager doit conduire à dégager.

D'une manière générale, la décision d'initier un dégagement se fonde sur la perception d'une situation non conforme à l'attendu.

2.3.1.3. Conscience erronée de l'attitude de l'hélicoptère et de sa vitesse sol

Le pilote a très probablement été victime d'une illusion d'orientation, à l'origine d'une conscience erronée de l'attitude de l'hélicoptère en roulis. Compte tenu des bonnes conditions de visibilité lors de l'évènement, il est fort probable que, lors du processus d'intégration des informations multi sensorielles qui permettent au pilote de s'orienter dans l'espace, les informations visuelles ont eu un poids prédominant par rapport à celles d'origine vestibulaire (oreille interne). Ces dernières sont davantage prises en compte par le cerveau lorsque le pilote est privé de références visuelles extérieures (vol sans visibilité). Une illusion d'origine vestibulaire de type illusion d'inclinaison peut donc être rejetée dans le contexte de l'accident. Lors d'un vol à vue, les indices visuels sont essentiels pour permettre l'orientation spatiale du pilote. Le vol de l'accident est réalisé en zone montagneuse, avec peu d'indices de verticalité et d'horizontalité et des indices non fiables (arbres inclinés, pentes du relief, etc.). De plus, le pilote regardait probablement vers la zone d'atterrissage et la pente, proche de lui, pendant cette dernière évolution par la droite, avant le dégagement. Il était donc privé de la profondeur de champ de vision qu'il aurait eue vers l'avant et d'un nombre plus important d'indices de verticalité. À ce titre, le fait de virer face à la pente plutôt que face à la vallée, sans s'en éloigner, favorise la survenue de cette illusion d'orientation. Le manque de profondeur de champ visuel et d'indices suffisants de verticalité ou

d'horizontalité, non compensé par un contrôle instrumental adapté, a très certainement contribué à ce que le pilote ne se rende pas compte qu'il était autant incliné en roulis à droite. En outre, il a été surpris lorsqu'il a appris a posteriori la valeur d'inclinaison en roulis à droite de l'hélicoptère de 29° au moment où il a initié sa manœuvre de dégagement, pensant qu'il n'était incliné qu'à 10° ou 15°.

Il est aussi possible que le pilote n'ait pas eu conscience de sa vitesse sol significative vers la pente (30 kt) juste avant le dégagement. Assimilant sa vitesse air indiquée nulle⁷ à sa vitesse sol, il a peut-être interprété le glissement horizontal de l'hélicoptère vers la pente comme un mouvement de descente, du fait du rapprochement réel du sol et de sa représentation erronée d'une faible inclinaison en roulis.

Juste avant de dégager, très probablement victime d'une illusion d'orientation, le pilote a une conscience erronée de l'attitude de l'hélicoptère en roulis et possiblement de sa vitesse sol.

2.3.1.4. Perception soudaine d'une situation de l'hélicoptère non conforme à l'attendu

2.3.1.4.1. Perception soudaine de la vitesse indiquée nulle de l'hélicoptère

Attention portée vers la zone d'atterrissage pendant le virage

Au cours de sa dernière évolution par la droite, le pilote cherche probablement à localiser la zone d'atterrissage qu'il vient de survoler sans pouvoir le faire. Il verbalise clairement ce besoin lors de son premier passage à la verticale de la zone d'atterrissage. De plus, le pilotage de son virage par la droite pour approcher la zone située au sud du restaurant nécessite de porter son attention sur le point de sortie de virage visé. Pour ces deux raisons, le pilote concentre probablement la plus grande part de son attention sur la zone d'atterrissage dès lors qu'elle arrive dans son champ de vision, sur son secteur arrière droit. Au cours de ce probable mouvement de tête dans cette direction pendant les quelques secondes précédant le dégagement, le pilote tire légèrement le manche cyclique vers l'arrière et la droite par un couplage mécanique entre sa tête et son bras droit, générant un relevé d'assiette de 8° et l'accroissement de l'inclinaison à droite jusqu'à 29°. La trajectoire assez resserrée en virage par la droite adoptée par le pilote lors de cette dernière évolution a, au préalable, provoqué l'adoption d'une vitesse air faible, de l'ordre de 25 kt. Dans ces conditions, une diminution de la vitesse air de 5 kt suffit à faire passer la vitesse indiquée à zéro. Or, la modification involontaire de l'attitude de l'hélicoptère par le pilote, au cours du virage, entraîne une diminution de la vitesse air de l'ordre de 10 kt. L'hélicoptère arrive alors presque face à la pente et avec un vent la remontant depuis son secteur arrière, avec une vitesse indiquée nulle. En regardant à nouveau vers l'avant et dans sa cabine à cet instant, le pilote constate soudainement qu'il a perdu sa vitesse indiquée et se retrouve dans une situation non conforme à l'attendu. Il verbalise à cet instant sa surprise et son agacement d'avoir involontairement laissé la vitesse de l'hélicoptère décroître et dégage simultanément.

Au cours de sa dernière évolution par la droite, assez resserrée et réalisée à vitesse faible, le pilote porte probablement toute son attention vers la zone d'atterrissage, générant un changement d'attitude de l'hélicoptère et une réduction de vitesse indiquée à son insu. Sa perception soudaine de cette situation non conforme à son attendu, alors que l'hélicoptère arrive face à la pente et avec du vent arrière, le conduit à dégager.

⁷ En dessous de 20 kt de vitesse air, la vitesse indiquée en cabine est nulle. Ainsi, au cours du vol de l'évènement, la vitesse air ne descend jamais sous les 15 kt. Juste avant le dégagement, elle est estimée à une valeur comprise entre 15 et 20 kt, alors que la vitesse indiquée est nulle.

Absence de contrôle de l'indication de vitesse pendant le virage

Au cours de sa dernière évolution par la droite, le pilote n'a probablement pas conscience de la vitesse indiquée de l'hélicoptère, son attention étant portée sur la zone d'atterrissage. En regardant uniquement vers l'extérieur, il peut également juger de sa vitesse sol et la piloter grâce au défilement qu'il observe. Ainsi, le pilote conserve une vitesse sol de l'ordre de 25 kt pendant ce dernier virage.

L'absence de contrôle par le pilote de la vitesse indiquée de l'hélicoptère dans le virage l'a empêché de contrer son action naturelle et involontaire sur le manche cyclique à l'origine de l'accroissement de l'inclinaison à droite et de la réduction de vitesse. Elle a aussi provoqué la soudaineté de sa perception de cette situation non conforme à son attendu.

Portant toute son attention sur la zone d'atterrissage, le pilote n'a probablement pas contrôlé l'indication de vitesse indiquée pendant le dernier virage à droite. Cela a favorisé la perte de celle-ci et la soudaineté de la perception de cette situation par le pilote.

2.3.1.4.2. Perception possible d'une trajectoire non conforme de l'hélicoptère

L'hélicoptère commence à descendre quelques dixièmes de seconde avant le moment où le pilote initie sa manœuvre de dégagement. De plus, pendant le virage à droite à basse vitesse avant le dégagement, l'hélicoptère glisse vers sa droite, vers la pente, et se rapproche du sol, en raison de l'inclinaison en roulis à droite de 20 à 30° et de la faible vitesse de l'hélicoptère⁸. Le vent remontant la pente et soufflant du 340° accentue également la glissade de l'hélicoptère vers l'intérieur de son virage et la pente.

En l'absence de conscience de sa vitesse air très faible et de son inclinaison importante en roulis en fin de virage, il est probable que le pilote a perçu le début de descente et la glissade de l'hélicoptère vers la pente comme anormaux. De plus, la perception du déplacement de l'hélicoptère vers la pente avec à une vitesse sol de presque 30 kt, contradictoire avec celle soudaine d'une vitesse indiquée nulle, peut avoir été interprétée par le pilote comme un comportement anormal de l'hélicoptère.

⁸ En effet, dans le virage, l'hélicoptère est soumis à la portance du rotor inclinée vers la droite par le taux de roulis significatif, à son poids et à la force centrifuge. Dans le plan horizontal, il est donc soumis à la composante horizontale de la portance et à la force centrifuge, très faible du fait de la vitesse de l'hélicoptère très faible également. La somme de ces forces génère un déplacement horizontal de l'hélicoptère (glissade) vers la pente à une vitesse sol significative.

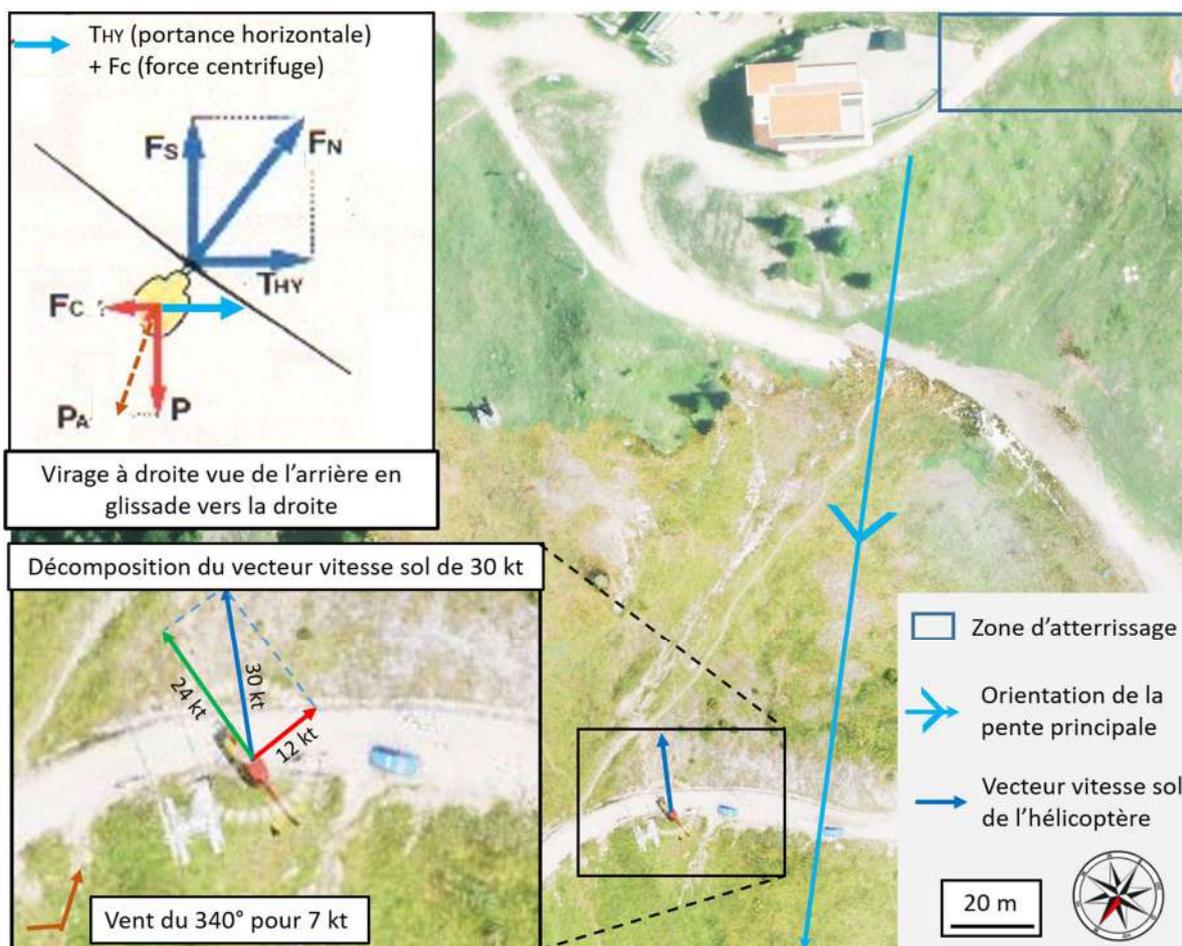


Figure 9 : vue de haut du virage et de la glissade à droite juste avant le décollage

La perception possible par le pilote d'une trajectoire non conforme de l'hélicoptère a pu contribuer à sa décision de décoller.

2.3.1.5. Représentation de la faisabilité de la manœuvre de décollage

Lorsque le pilote décide de décoller, il s'appuie sur sa conscience de la situation de l'hélicoptère et de son environnement et anticipe les effets des actions envisagées aux commandes sur la trajectoire à venir de l'hélicoptère. Au vu de sa conscience erronée de l'attitude de l'hélicoptère en roulis, de sa vitesse sol le poussant vers la pente et de sa position relative vis-à-vis de l'environnement, au moment d'initier la manœuvre de décollage, le pilote envisage dans l'instant les effets d'une augmentation de l'inclinaison en roulis de l'ordre de 20° sur la trajectoire à venir de l'hélicoptère. Cette évaluation automatique et instantanée est favorable à l'action envisagée aux commandes, motivant la décision de décoller par la droite.

Les expertises montrent d'ailleurs que la manœuvre de décollage de l'hélicoptère était réalisable, en sécurité, dans les conditions du moment et avec des actions au pas collectif identiques au scénario réel, en adoptant une inclinaison en roulis à droite limitée à 40°.

La représentation du pilote d'une trajectoire de décollage de l'hélicoptère compatible avec son environnement a contribué à sa décision de décoller.

2.3.2. Perte de hauteur supérieure à la marge disponible pendant le dégagement

2.3.2.1. Situation défavorable de l'hélicoptère vis-à-vis de son environnement

Au moment de dégager, l'hélicoptère se trouve à très basse vitesse, face à la pente, certes peu abrupte, à hauteur du plateau sur lequel se trouve la zone d'atterrissage, à environ 40 m au-dessus du sol et avec la brise de pente soufflant à 7 kt de son secteur arrière. Il ne dispose donc pas de réserve de vitesse⁹ susceptible d'être utilisée pour réduire le taux de descente à venir de l'hélicoptère. De plus, il se trouve dans la position nécessitant le plus long chemin à parcourir pour rejoindre son axe de dégagement. Une partie de ce chemin, qui consiste en un demi-tour, le rapproche par ailleurs de l'amont de la pente, réduisant d'autant le volume vertical disponible pour la manœuvre. En effet, alors qu'il aborde la manœuvre à 40 m de hauteur, il ne dispose en fait que de 20 m de hauteur exploitables sur la trajectoire qu'il s'apprête à suivre.

La situation défavorable de l'hélicoptère vis-à-vis de son environnement juste avant le dégagement réduit la marge de hauteur disponible tout en privant l'hélicoptère d'un surcroît de vitesse nécessaire à contrer une perte de hauteur de l'hélicoptère.

2.3.2.2. Inclinaison trop forte au regard de la vitesse de l'hélicoptère

2.3.2.2.1. Erreur de pilotage

L'adoption par le pilote, au cours de sa manœuvre de dégagement, d'une inclinaison supérieure à 30°, atteignant 50° pendant une seconde, à une vitesse inférieure à 45 kt, est une erreur de pilotage, compte tenu de la marge de hauteur dont il dispose. Plus le rotor principal est incliné en roulis, plus la composante verticale de la portance de l'hélicoptère, qui lui permet de maintenir sa hauteur, diminue. Pour conserver cette hauteur, il faut donc augmenter la portance en tirant sur le pas collectif, cette action étant parfois insuffisante du fait de sa limitation à la puissance maximale autorisée. Une autre solution consiste à modifier l'orientation de la portance en l'inclinant vers l'arrière pour augmenter sa composante verticale au détriment de sa composante horizontale. Cela revient à diminuer la vitesse pour la transformer en hauteur. Au-delà de 30° d'inclinaison, la puissance disponible est souvent largement insuffisante pour compenser la perte de composante verticale de portance. Seul un excédent de vitesse permet alors de conserver la hauteur pendant le virage. C'est pourquoi il est primordial de ne pas virer à forte inclinaison à faible vitesse, surtout à basse hauteur. Cette notion est enseignée en formation initiale et rappelée à l'occasion des exercices de pilotage réalisés lors des vols de formation sur des nouveaux types d'hélicoptères et des vols d'entraînement et d'instruction. Elle fait notamment partie du programme de qualification de type EC 145-C2 et participe des fondamentaux du pilotage en montagne enseignés au sein de la sécurité civile. Le pilote en avait conscience lors du vol de l'évènement. L'étude des paramètres des quatre vols précédant cette dernière mission le montre. Cette erreur provoque l'installation d'un taux de descente trop important de l'hélicoptère, au vu de la marge de hauteur de 20 m sur le trajet du dégagement et de l'absence d'un surcroît de vitesse transformable en hauteur.

L'adoption involontaire par le pilote, au moment du dégagement, d'une inclinaison forte en roulis à droite, alors que la hauteur de l'hélicoptère et sa vitesse sont faibles, contribue directement à la survenue de l'accident.

2.3.2.2.2. Maintien de la conscience erronée de l'attitude en roulis lors du dégagement

Au cours des six secondes séparant la décision de dégager de la collision de l'hélicoptère avec le sol, le pilote conserve probablement sa conscience erronée de l'attitude de l'hélicoptère en roulis. En effet, il est vraisemblablement focalisé sur l'extérieur et le point de sortie de sa trajectoire, au vu de ses actions aux commandes, cohérentes avec le pilotage d'une sortie de virage sur un axe de dégagement encore éloigné d'un écart angulaire d'environ 30°. De ce fait, il ne perçoit pas l'indication instrumentale de roulis. De plus, évoluant toujours dans le relief, sans horizon visible et avec peu d'indices visuels fiables de verticalité, il est toujours

⁹ En effet, la vitesse de l'hélicoptère peut être transformée en hauteur, de manière temporaire, par une augmentation de l'assiette au travers d'une action au manche cyclique.

soumis à une importante propension aux illusions d'orientation comme lors du virage précédant le dégagement. Cela l'empêche de percevoir et de corriger son erreur pendant le dégagement.

La conscience erronée du pilote concernant l'attitude en roulis de l'hélicoptère au cours du dégagement l'empêche de corriger son erreur pendant cette phase et d'éviter la collision de l'hélicoptère avec le sol.

2.3.2.2.3. Décision de dégager à droite

Au moment de prendre sa décision de dégager, le pilote choisit de partir vers la droite. En effet, le dégagement à droite nécessite d'incliner l'hélicoptère en roulis à droite mais également d'appuyer sur le palonnier droit afin d'aider l'hélicoptère à virer, notamment à basse vitesse. Cette action au palonnier libère de la puissance au profit du rotor principal et de la portance en diminuant la puissance consommée par le rotor anti-couple. Les pilotes privilégient donc le dégagement à droite à celui à gauche, dans ce type de situation aérodynamique. Le pilotage de l'hélicoptère est aussi plus facile du côté droit où se trouve le pilote. De plus, le pilote n'a pas conscience de la nécessité de faire un peu plus d'un demi-tour pour rejoindre son axe de dégagement et pense le chemin à parcourir plus court. Par ailleurs, le pilote ne peut pas voir à gauche de l'hélicoptère, du fait de son inclinaison en roulis à droite. Il sait néanmoins qu'une remontée mécanique s'y trouve, ce qui peut aussi avoir influé sur son choix de dégager à droite. Enfin, dans le très court instant durant lequel il prend sa décision, le pilote n'a que très peu de temps pour analyser la situation de l'hélicoptère vis-à-vis de l'environnement et en déduire la manœuvre de dégagement la plus adaptée. En outre, le fait d'être en virage complique cette analyse, à cause de l'attitude de l'hélicoptère et de l'évolution permanente de sa situation vis-à-vis de la pente et des solutions de dégagement associées. Cette trajectoire a également privé le pilote de pouvoir anticiper un potentiel dégagement en l'annonçant en amont, grâce à une phase de vol stabilisée établie avant de s'engager dans le relief. De ce fait, il est possible qu'il ait appliqué le dernier schéma de dégagement à droite préétabli qu'il avait énoncé lors d'une évolution précédente en ligne droite visant à localiser la victime. La décision prise, le mouvement de cyclique vers la droite suit naturellement et génère l'erreur de pilotage à l'origine de l'accident.

La décision du pilote de dégager à droite le conduit à initier une action à droite au manche cyclique, accroissant l'inclinaison en roulis de manière trop importante au vu de la marge de hauteur disponible.

2.3.2.3. Analyse des variations de pas collectif

2.3.2.3.1. Étude de l'impact des actions au pas collectif

En appliquant la puissance maximale autorisée au décollage (88% de couple) dès le début de la manœuvre de dégagement, avec une évolution de l'inclinaison en roulis identique à celle de l'accident, l'hélicoptère n'aurait perdu que 15 m de hauteur et serait passé cinq mètres au-dessus du sol. Dans la circonstance, l'augmentation progressive de la puissance par le pilote, de 70 % à 80 % de couple, un peu plus de deux secondes après le début du dégagement, puis un peu plus rapide jusqu'à une valeur dépassant la puissance maximale autorisée dans la dernière seconde, est insuffisante pour réduire significativement le taux de chute de l'hélicoptère et éviter la collision.

L'augmentation progressive du pas collectif par le pilote n'a pas permis d'éviter la survenue de l'accident.

2.3.2.3.2. Conscience de la situation et réactivité du pilote

À partir du début de la manœuvre de dégagement et de l'augmentation de l'inclinaison en roulis à droite au-delà de 30°, le taux de descente de l'hélicoptère s'installe progressivement, en s'accroissant de plus en plus vite au fur et à mesure que l'inclinaison en roulis à droite augmente. Ainsi, il est de 500 ft/min deux secondes et demies après le début de la manœuvre alors que l'inclinaison en roulis atteint déjà 45°. À cet instant, le pilote commence à tirer sur le pas collectif de 70% de couple vers 80%, atteint une seconde et demie plus tard. L'inclinaison en roulis culmine à 50° quatre secondes après le début de la manœuvre et deux secondes avant la collision, alors que le taux de chute atteint 1 100 ft/min en augmentation. À cet instant, le pilote

exprime à haute voix sa surprise devant l'enfoncement de l'hélicoptère et son impuissance à le maîtriser. Il reprend alors son action sur le pas collectif avec une rapidité d'action un peu plus importante jusqu'à la collision, alors que l'hélicoptère atteint son taux de chute maximal de 1 230 ft/min une seconde avant celle-ci. Le délai de réaction en deux temps du pilote au pas collectif apparaît cohérent avec l'augmentation progressive et de plus en plus rapide du taux de descente induite par l'augmentation de l'inclinaison en roulis. Cependant, le dosage de ses actions sur le pas collectif semble faible au regard d'une situation de collision imminente avec le sol. Cela est corroboré par l'analyse des actions du pilote au manche cyclique dans les trois dernières secondes du vol. Celles-ci sont souples et cohérentes avec une sortie de virage à droite progressive. Elles sont insuffisamment rapides et amples pour positionner l'hélicoptère à plat avant la collision avec le sol. Cela tend à démontrer que le pilote n'a pas eu conscience de la collision imminente de l'hélicoptère avec le sol, ou seulement au tout dernier instant.

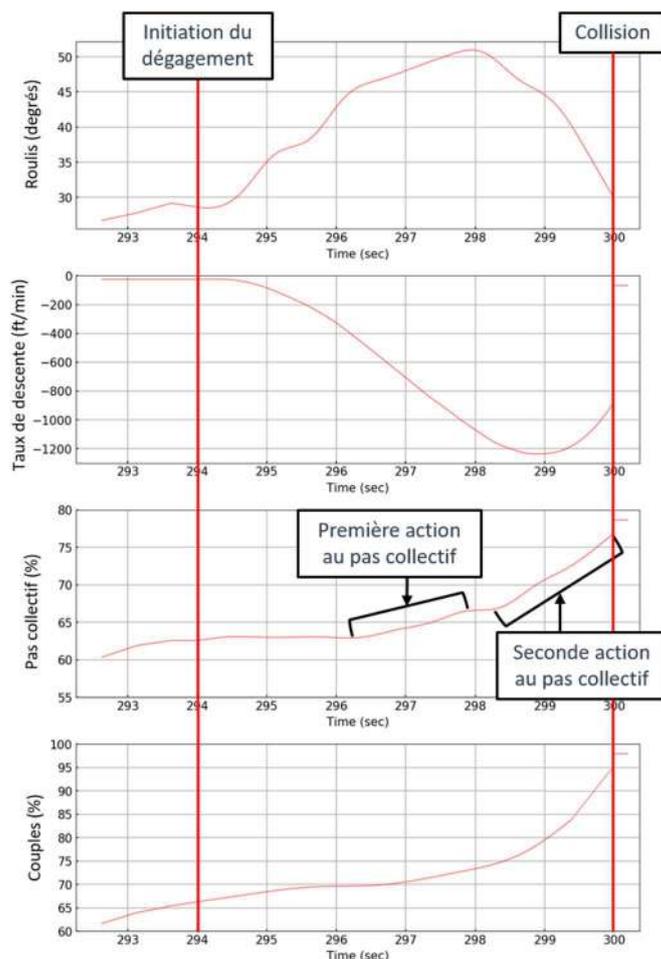


Figure 10 : illustration des actions au pas collectif pendant le dégageement

La réaction du pilote au pas collectif à partir du début de la manœuvre semble cohérente avec sa perception de l'installation progressive d'un fort taux de descente de l'hélicoptère. L'insuffisance de la réactivité du pilote aux commandes au vu de la collision imminente témoigne d'un déficit de conscience de cette situation.

2.3.2.3.3. Défaut de perception du terrain

Le déficit de conscience du pilote d'une collision imminente de l'hélicoptère pendant la manœuvre de dégageement pourrait trouver son origine dans un défaut de perception du terrain situé le long de la trajectoire de dégageement.

En effet, après avoir jugé que sa manœuvre de dégageement était réalisable et l'avoir initiée, il est probable que le pilote a principalement porté son regard vers la direction où il souhaitait conduire l'hélicoptère, c'est-à-dire vers la vallée, et qu'il a adapté son pilotage du manche cyclique à l'obtention de cette trajectoire. L'évolution de l'inclinaison en roulis jusqu'à la collision est d'ailleurs cohérente avec une sortie de virage

escomptée selon l'axe de la pente moyenne du terrain, au cap 320° alors que l'hélicoptère a heurté le sol au cap 290°. Ainsi, le pilote a vraisemblablement consacré la plus grande part de son attention à piloter son point de sortie de trajectoire et n'a pas perçu, ou au tout dernier instant, les caractéristiques du terrain présent sous la trajectoire recherchée, dont la bosse heurtée par l'hélicoptère.

Un défaut de perception du terrain situé sur la trajectoire de dégagement pourrait être à l'origine du déficit de conscience probable du pilote d'une collision imminente avec le sol.

2.3.3. Trajectoires adoptées par le pilote

2.3.3.1. Étude des trajectoires

À partir de son identification de la localisation de la victime, le pilote adopte des trajectoires en décalage avec les pratiques de pilotage recommandées et enseignées en montagne. En effet, dans le cas d'une zone d'atterrissage en haut d'un flanc de pente, il est généralement conseillé d'emprunter une trajectoire en « paire de lunettes » en évoluant le long du flanc de pente et en virant face à la vallée pour revenir vers la pente avec un angle convergent de 30 à 45 degrés, afin de ne jamais virer face à la pente. Cette pratique vise à conserver en permanence un volume de dégagement rapidement accessible grâce à la vallée. La présence de câbles de remontées mécaniques le long de la pente d'une station de ski peut parfois conduire à s'affranchir de ce type de trajectoire pour privilégier des trajectoires orientées face à la pente ne survolant pas ces câbles.

Il est également recommandé d'aérer les évolutions dans le plan horizontal et vertical, afin de conserver une vitesse comprise entre 45 kt et la vitesse de puissance minimale (65 kt sur EC 145-C2) et une hauteur confortable permettant la recherche des éléments nécessaires à la rejointe du sol tout en conservant la plus grande hauteur de vol possible. L'aération des évolutions, en permettant l'éloignement des obstacles et du relief, génère des phases de vol où le pilotage est moins consommateur de ressources. Ces phases offrent également du temps disponible pour analyser la situation et avancer dans l'élaboration d'une décision de dépose partagée avec tous les membres de l'équipe d'intervention. Dès lors que la décision est prise, la réduction de vitesse a lieu pendant le dernier virage, sans passer sous les 40 kt, pour terminer l'approche par une phase stabilisée à plat ou en léger virage (pour suivre une ligne de crête par exemple), sur le plan choisi, avec un axe de dégagement identifié et annoncé avant d'engager le relief. L'identification d'un point de décision au-delà duquel le dégagement n'est plus possible permet d'être prêt à réaliser rapidement la manœuvre adéquate en fonction du moment où survient la situation non conforme.

Dans le cas de l'évènement, après une première évolution au nord en « paire de lunettes », comportant l'annonce du dégagement et conduisant à une phase où l'hélicoptère avance à très faible vitesse à 30 m du sol, presque face à la pente (localisation de la victime par le pilote), les trajectoires adoptées s'éloignent des pratiques recommandées en montagne. En effet, le pilote dégage ensuite par la gauche le long du flanc de pente pour immédiatement tourner à vitesse faible par la droite, face à la pente et survoler le restaurant et la zone d'atterrissage à une hauteur de 20 m. Il s'éloigne ensuite brièvement vers la vallée puis réalise un nouveau virage assez resserré par la droite, à très basse vitesse, face à la pente, pour se retourner entre 200 et 250 mètres de la zone d'atterrissage.

L'adoption de cette trajectoire conduit à la situation défavorable de l'hélicoptère vis-à-vis de son environnement au moment de dégager. De plus, elle favorise la décision du pilote de dégager par la droite et son erreur de pilotage en :

- privant le pilote d'anticiper son dégagement par une phase de vol en ligne droite préalable à l'engagement du relief ;
- favorisant l'acquisition d'une conscience erronée du pilote de l'attitude de l'hélicoptère en roulis et de sa vitesse par une complication de la perception visuelle des indices de verticalité à l'extérieur ;
- favorisant l'acquisition d'une vitesse indiquée nulle dans le virage du fait de la vitesse logiquement faible associée à ce type de trajectoire resserrée.

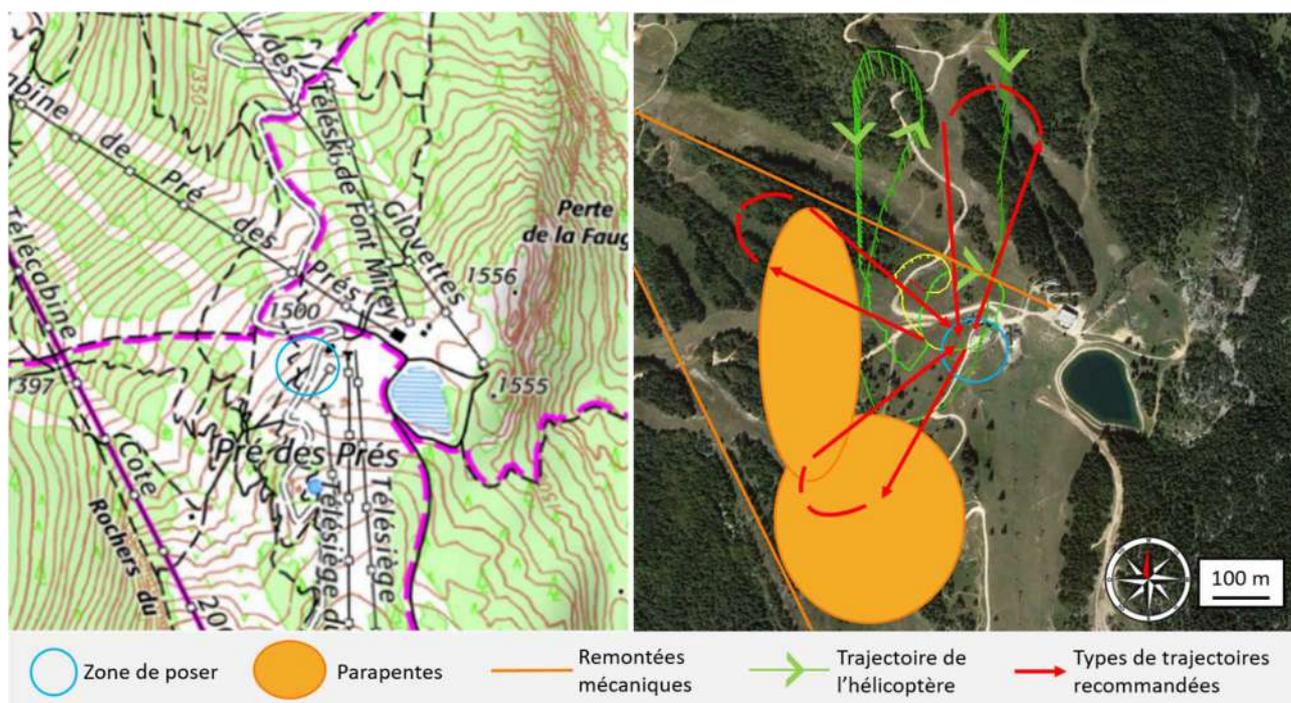


Figure 11 : zone de l'intervention et trajectoires

Les trajectoires adoptées par le pilote, après sa localisation de la victime, sont en décalage avec les pratiques recommandées pour le vol en montagne. Elles conduisent à la situation défavorable de l'hélicoptère juste avant le dégagement et favorisent la décision de dégager par la droite et l'erreur de pilotage.

2.3.3.2. Risque externe faible

Les pratiques recommandées pour le vol en montagne sont fondées sur la nécessaire maîtrise du risque de collision de l'hélicoptère avec son environnement au cours de ces vols. Elles visent à préserver à l'hélicoptère, le plus souvent possible, une porte de sortie au travers d'un volume de dégagement immédiatement accessible en cas de problème empêchant la poursuite de la manœuvre en sécurité. L'utilité et la nécessité de les appliquer systématiquement sont donc proportionnelles au risque d'être confronté à une situation nécessitant de dégager. Ce risque dépend de la présence des facteurs principaux qui l'alimentent : l'aérogologie plus ou moins forte et turbulente, la couverture nuageuse plus ou moins proche du lieu d'intervention, la marge de puissance disponible, le risque d'une avarie technique provoquant une perte de puissance soudaine.

Dans le cas présent, l'aérogologie est calme et laminaire et ne présente aucun risque pour les approches. De plus, le ciel est dégagé et la marge de puissance est très confortable. À l'exception d'un problème technique provoquant une perte de puissance soudaine, dont la probabilité est très faible, les raisons potentielles de devoir dégager sont inexistantes. L'analyse de cet accident montre d'ailleurs qu'un dégagement n'était pas nécessaire au vu de la situation aérodynamique de l'hélicoptère.

Le pilote a eu l'occasion d'évaluer ces différents facteurs de risque en arrivant sur le site à une vitesse et une hauteur raisonnables et lors de sa première évolution du type « paire de lunettes » par la gauche. Il a ainsi perçu une situation aéronautique générale présentant très peu de risque, à l'exception des parapentes. De plus, son expérience de dégagements passés, toujours réalisés dans des contextes de limite de puissance et/ou d'aérogologies turbulentes, conforte son appréciation d'une faible probabilité de devoir dégager dans un tel contexte. Celle-ci a favorisé l'adoption par le pilote de trajectoires décalées des pratiques recommandées en montagne, en fin d'intervention.

La mission ne comporte que peu de risque externe de devoir dégager lors d'une approche, comme le confirme l'expérience du pilote. Un tel contexte favorise l'adoption par le pilote de trajectoires en décalage avec celles qui sont recommandées en montagne.

2.3.3.3. Conscience du risque individuel

Au-delà des facteurs de risque externes aux individus et au pilote, faibles lors du vol de l'évènement, il subsiste le risque généré par le facteur humain individuel. Ce dernier englobe tous les facteurs individuels pouvant influencer défavorablement sur la performance et générer des erreurs. Il inclut l'état général de la personne, son niveau de fatigue, son état psychologique, le degré de vulnérabilité aux contraintes physiologiques de la mission (chaleur, altitude, turbulences), les effets sur sa performance de son appréhension générale de la mission et de ses risques (une mission jugée difficile et risquée aura tendance à provoquer un niveau de mobilisation des ressources et d'engagement supérieur à une mission jugée simple et routinière qui aura tendance à générer un niveau de performance moindre), son expérience, ses faiblesses diverses. En matière de gestion du risque aérien, il est souvent naturel de prendre en compte les facteurs qui nous sont externes et qui s'imposent à nos sens tandis que les facteurs de risque individuels sont plus délicats à appréhender, notamment quand la mission ne présente pas de difficulté apparente.

Ainsi, lors du vol de l'évènement, il est probable que l'équipage et le pilote n'aient pas eu conscience ou ont sous-estimé les facteurs de risques inhérents au facteur humain individuel. L'absence de conscience de ce facteur de risque permanent (notamment l'effet « routine » d'une mission sans difficulté apparente sur la performance), quelle que soit la mission, a probablement favorisé l'adoption des deux dernières trajectoires en décalage avec les pratiques recommandées en vol de montagne.

Le pilote n'a probablement pas eu conscience de ses facteurs de risques humains propres influant sur son niveau de performance. Cela a permis son adoption de trajectoires en décalage avec les pratiques recommandées en vol en montagne.

2.3.3.4. Présence de parapentes

2.3.3.4.1. Limitation du volume des évolutions

À l'arrivée de l'hélicoptère sur le secteur d'intervention, au moins cinq parapentes évoluent entre 1500 et 2000 mètres d'altitude, au-dessus du lieu où se trouve la victime. Le MOB utilise la sirène de l'hélicoptère à trois reprises pour signaler sa présence et provoquer leur éloignement. La plupart d'entre eux s'éloignent lentement vers le sud pendant les deux premières minutes du survol du secteur par l'hélicoptère après que l'un d'entre eux est passé à 125 m de l'hélicoptère. Malgré cela, la lenteur de leur déplacement fait qu'ils limitent les évolutions du pilote sur le secteur sud du lieu où se trouve la victime pendant toute l'intervention. De plus, l'un d'entre eux reste quelques centaines de mètres à l'ouest du restaurant d'altitude, ce qui empêche d'aérer les évolutions vers la vallée. Même si l'éloignement vers le nord tel que pratiqué par le pilote à son arrivée sur la zone reste possible dans un secteur angulaire limité, cette situation favorise l'adoption des trajectoires pratiquées par le pilote, une fois la victime localisée. Ainsi, après cette phase, il part vers le nord sur sa gauche au lieu de poursuivre son évolution en « paire de lunettes » vers le sud, ce secteur étant encore occupé par les parapentes. De même, lorsqu'il s'éloigne vers la vallée pour se présenter à nouveau sur le secteur de la zone d'atterrissage, il ne peut pas prolonger sa branche d'éloignement vers la vallée avant de se retourner par la droite, ce qui hypothèque, dans la circonstance, l'aération de son évolution et la possibilité de virer avec une hauteur raisonnable, permettant de stabiliser la trajectoire avant de s'engager dans le relief.

La présence de parapentes sur le secteur d'intervention a contraint le pilote dans le choix de ses trajectoires et a favorisé son adoption de trajectoires insuffisamment aérées.

2.3.3.4.2. Impact d'une enquête du bureau d'enquêtes et d'analyses

Une quinzaine de jours avant l'accident, le pilote prend connaissance des conclusions d'un rapport du bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile¹⁰, portant sur le décès d'un parapentiste. Cet accident a été occasionné par la fermeture intempestive de son aile, sous l'action des turbulences de sillage d'un hélicoptère étant passé environ 300 m au vent de sa position quelques instants plus tôt. Les conclusions insistent sur la vigilance des pilotes d'hélicoptères vis-à-vis des risques générés par leur

¹⁰ Enquête BEA2019-0234.

turbulence de sillage sur les parapentes, le pilote est très marqué par cet évènement qui accroît significativement son appréhension du risque d'évoluer à proximité de parapentes lors de ses interventions. Ainsi, lors du vol de l'évènement, le pilote concentre la plus grande part de son attention sur les parapentes et adopte probablement des distances de sécurité vis-à-vis d'eux supérieures à celles qu'il pratiquait auparavant. Cela réduit d'autant les possibilités d'évolutions offertes au pilote vers le sud et l'ouest du lieu où se trouve la victime, le contraignant à resserrer ses trajectoires dans ces directions.

L'appréhension par le pilote du risque de l'évolution combinée d'un hélicoptère et de parapentes dans un volume restreint est accrue par sa lecture récente des conclusions d'un rapport du bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile sur la chute mortelle d'un parapentiste causée par les turbulences de sillage d'un hélicoptère.

2.3.4. Niveau de performance cognitive du pilote

Le niveau de performance cognitive du pilote se matérialise par un déficit de dissociation d'attention du pilote, à l'origine d'un déficit de contrôle instrumental et de balayage entre les différents éléments extérieurs nécessaires à l'élaboration d'une conscience exhaustive de la situation.

Le déficit de contrôle instrumental contribue notamment à la probable absence de conscience du pilote d'évoluer à plusieurs reprises à vitesse indiquée nulle au cours de l'intervention. Il favorise également la perte de vitesse indiquée dans le dernier virage et le caractère soudain de la prise de conscience du pilote de cette situation à l'origine de sa décision de dégager. Il favorise enfin sa représentation erronée de l'attitude de l'hélicoptère en roulis en amont du dégagement et pendant celui-ci, à l'origine de :

- sa sensation d'un comportement anormal de l'hélicoptère influant sur sa décision de dégager ;
- son erreur de pilotage induisant un taux de descente incompatible avec la marge de hauteur disponible ;
- son absence d'identification de cette erreur au cours du dégagement.

Par ailleurs, le déficit de balayage entre les différents éléments extérieurs nécessitant l'attention du pilote a pour conséquences :

- son retard de perception, par rapport au MOB, des éléments nécessaires à l'élaboration de sa conscience de la situation ;
- son déficit probable de conscience d'une collision imminente avec le sol pendant le dégagement.

L'altération du niveau de performance cognitive du pilote se matérialise également par les possibles illusions d'orientation qu'il subit lors de son dernier virage par la droite et de son dégagement. Ces dernières concourent également à sa représentation erronée de l'attitude de l'hélicoptère en roulis dans cette dernière phase du vol.

Au cours du vol de l'évènement, le pilote montre un niveau de performance cognitive marqué par un déficit de dissociation d'attention, un déficit de contrôle instrumental, des illusions d'orientation probables. Cela contribue à la survenue de l'accident.

2.3.5. Facteurs influant sur les performances cognitives du pilote

2.3.5.1. Niveau de fatigue du pilote

Le jour précédant le vol accidentel, le pilote a réalisé cinq heures de vols techniques qu'il a ressentis comme très exigeants d'un point de vue cognitif. Il indique s'être senti épuisé à la fin de la journée. Le jour de l'accident, il ressent un niveau de fatigue moyen s'accroissant au cours de la journée, l'accident étant survenu lors du cinquième vol de la journée. Ces vols étaient des missions de secours en montagne, exigeants en termes de ressources cognitives. Le pilote était donc probablement sujet à une fatigue mentale¹¹ lors du vol de l'évènement.

Il était aussi en phase post-prandiale immédiate de la digestion de son dernier repas. Cette phase est classiquement associée à une baisse de la vigilance (sommolence indépendante du rythme circadien) même s'il existe une variabilité interindividuelle importante de ce phénomène. Celui-ci s'explique par la transformation des aliments ingérés en éléments nutritifs (anabolisme). Ce processus est consommateur de ressources. Cet effet est majoré en cas d'absorption d'aliments « trop riches ». En somme, bien qu'on ne puisse pas quantifier précisément l'effet pour ce pilote dans cet événement particulier, l'absorption rapide environ 30 minutes avant l'accident d'un plat composé quasi-exclusivement de glucides lents a potentiellement contribué à une baisse de la vigilance du pilote.

Le niveau de fatigue du pilote, généré par les vols de la journée et la digestion d'un repas très riche ingéré très rapidement, a potentiellement contribué à diminuer son niveau de performance cognitive lors du vol de l'évènement.

2.3.5.2. Contraintes physiologiques

2.3.5.2.1. Apport nutritionnel insuffisant

Lors du vol de l'évènement, le pilote dispose d'un apport nutritionnel faible : huit heures s'écoulent entre sa prise de petit-déjeuner (vers 7h30) et son déjeuner (vers 15h45) qu'il mange très rapidement et qui se déroule 30 minutes avant l'évènement. Le pilote n'a vraisemblablement pris aucune collation entre ces deux repas. Même si le taux de glycémie du pilote est probablement normal au moment de l'intervention, les aliments ingérés ne profitent pas encore à la régulation de celui-ci. Le manque d'apport nutritionnel nécessite alors que l'organisme puise dans ses ressources pour maintenir la glycémie. Cela peut provoquer une baisse de la performance cognitive.

Au sujet des règles hygiéno-diététiques, les consignes permanentes de sécurité aérienne du GHSC déconseillent d'entreprendre un vol plus de cinq heures après la fin d'un repas, sans avoir pris une collation entre temps. Le pilote n'a donc vraisemblablement pas suivi ce conseil. Cela est notamment dû à l'enchaînement ininterrompu et parfois sans retour à la base de quatre missions aériennes, entre la fin de matinée et le milieu de l'après-midi. Par ailleurs, la planification d'un repas amélioré au profit de l'équipe d'intervention a peut-être généré un déficit d'attrait pour une collation plus tôt dans la journée. Enfin, il est courant pour le personnel navigant des forces de sécurité, habitué à enchaîner les missions d'urgence, de sous-estimer l'impact potentiel d'un apport nutritionnel insuffisant sur sa performance.

Un apport nutritionnel insuffisant concernant le pilote pourrait être à l'origine d'une diminution de son niveau de performance cognitive.

2.3.5.2.2. Hydratation et contrainte thermique

D'une manière générale, la déshydratation, même légère, constitue un facteur de dégradation du niveau de performance cognitive. Elle trouve son origine dans une hydratation insuffisante et est renforcée par un niveau significatif de contrainte thermique. Concernant l'hydratation du pilote, les investigations n'ont pas permis de

¹¹ La fatigue mentale est définie comme un état psychobiologique causé par des périodes prolongées d'activité cognitive exigeantes. Elle est associée à une dégradation continue, au cours d'une activité cognitive, des fonctions cognitives telles que l'attention, la mémoire de travail, la mémoire à long-terme, la conscience de la situation ou encore le contrôle exécutif, indépendamment des effets de somnolence, de motivation et de fatigue physique. Elle peut également être associée à une sensation de fatigue.

prouver qu'elle avait été insuffisante le jour de l'évènement. En effet, même si l'enchaînement ininterrompu de missions préalable au vol de l'évènement a peut-être contribué à restreindre son hydratation, il est possible qu'il ait bu régulièrement grâce à une bouteille d'eau qu'il avait potentiellement emportée en vol. Néanmoins, l'hypothèse qu'il n'ait pas suffisamment bu avant le vol de l'évènement ne peut être exclue. De plus, le pilote témoigne avoir ressenti une sensation de chaleur, avec une température dans le cockpit qu'il estime à 30°C, alors que la température extérieure était annoncée à 20°C. Cette température sèche ne prend pas en compte l'hygrométrie et la chaleur radiante. Or, cette dernière est significative dans un aéronef, du fait du rayonnement solaire, plus important en altitude, qui frappe la verrière et de l'effet de serre induit par la forme de « bulle ». Cette chaleur ne pouvait être que très faiblement compensée par le système de ventilation et l'ouverture des fenêtres coulissantes des portes latérales, du fait de la température extérieure insuffisamment basse et d'une circulation très difficile de l'air à cause du vent faible et de la vitesse lente de déplacement de l'hélicoptère. Ainsi, la contrainte thermique subie et ressentie par le pilote au cours de la journée est susceptible d'avoir accentué la déshydratation possible de ce dernier.

La déshydratation possible du pilote, favorisée par une hydratation potentiellement insuffisante et la contrainte thermique s'exerçant sur lui pendant le vol de l'évènement, pourrait avoir dégradé sa performance cognitive.

2.3.5.3. Hypothèse d'un relâchement de l'attention du pilote lors de la dernière évolution

2.3.5.3.1. Niveau de difficulté de la mission et mobilisation des ressources

Le niveau de difficulté générale de la mission est simple, en comparaison du niveau moyen des missions rencontrées par l'équipage, notamment durant la journée de l'évènement. En effet, la mission se déroule de jour, dans un secteur d'intervention connu de l'équipage, peu accidenté et situé à une altitude moyenne. Les conditions météorologiques sont très favorables, compte tenu de l'absence de nébulosité, de la visibilité excellente et de l'aérodynamisme laminaire peu marquée. La nature du terrain permet d'envisager de rejoindre le sol via un atterrissage sur une zone plane, évitant la mise en œuvre de techniques délicates telles que le treuillage ou l'appui-patin. La distance très courte séparant la base de la zone d'intervention permet d'intervenir avec un aéronef léger et offrant une réserve de puissance confortable. Seule la présence de parapentes sur le secteur d'intervention génère un risque et une difficulté.

Compte tenu du niveau de difficulté de la mission, le niveau moyen de mobilisation des ressources du pilote est probablement faible au cours de celle-ci.

2.3.5.3.2. Chute de mobilisation des ressources du pilote lors de la dernière évolution

Le stress généré par la présence de parapentes sur son secteur d'intervention induit la mobilisation maximale de ses ressources pendant une courte période. Par la suite, le pilote mobilise ses ressources pour localiser la victime puis valide la solution de dépose des secouristes proposée par le MOB, en décidant d'atterrir à proximité du restaurant.

La prise de cette décision semble marquer le début d'un relâchement important du pilote, provoquant une démobilisation de ses ressources restantes. En effet, dans cette dernière phase du vol, le risque généré par les parapentes est circonscrit et la solution de rejointe de la zone de dépose est prise. De plus, le silence règne dans l'hélicoptère, à l'exception de la phraséologie habituelle associée à la préparation de l'atterrissage. Le pilote n'a plus d'autre source de mobilisation de ses ressources que le pilotage de l'hélicoptère. La verbalisation de son étonnement de ne plus se souvenir de l'emplacement précis de la zone d'atterrissage pourrait matérialiser sa mise à distance de sa tâche de pilotage et la démobilisation de ses ressources restantes.

La disparition de toutes les sources de tension et de mobilisation des ressources du pilote, après sa décision d'atterrir, pourrait avoir généré un relâchement de celui-ci et une démobilisation de ses ressources. Cela pourrait avoir contribué à la baisse de sa performance cognitive dans cette dernière phase du vol.

2.4. Facteur d'aggravation possible des conséquences de l'accident

2.4.1. Position du MOB au moment de la collision

Lors du dégagement, le MOB, prêt à l'atterrissage, est positionné à la porte arrière gauche ouverte. Dans cette position, il a un accès direct à l'extérieur de l'habitacle et est sécurisé sur un point haut de celui-ci, situé entre les deux sièges avants, par une longe d'environ deux mètres, réglée pour être tendue dans le cas où le MOB se tiendrait debout sur le patin. Il a donc une liberté de déplacement beaucoup plus grande que celle du pilote sanglé sur son siège ou des secouristes et du médecin assuré par des longes de 80 cm de longueur. L'accès direct du MOB à l'extérieur de l'habitacle et sa liberté de déplacement au moment de la collision ont aggravé les conséquences de ses blessures.

Dans le cas d'une approche en vue d'un atterrissage en campagne, un tel positionnement du MOB, bien que plus exposé, est souvent nécessaire, notamment en montagne. En effet, il permet au MOB d'assurer la sécurité de l'hélicoptère vis-à-vis des obstacles possiblement présents en s'approchant du point de posé et lui donne plus d'aisance pour guider le pilote pour le posé final des patins de l'hélicoptère à un endroit libre de tout objet susceptible de menacer la sécurité de la manœuvre ou d'endommager l'hélicoptère.

Dans le cas d'un passage sans intention d'atterrir, la nécessité d'un tel positionnement pour sécuriser le volume d'évolution très proche de l'hélicoptère n'est pas forcément avérée. D'ailleurs, lors du vol précédant la mission de l'accident, le MOB s'assure auprès du pilote qu'il est bien sur le point de se présenter pour atterrir avant de passer dans la soute cargo de l'hélicoptère.

Le positionnement du MOB, à la porte ouverte, lors du dégagement, a augmenté son exposition au risque de blessures. En théorie, le positionnement du MOB découle du meilleur compromis entre le bénéfice opérationnel escompté et son exposition au risque.

2.4.2. Déficit de clarté des intentions et processus décisionnel

L'analyse des communications à bord révèle un déficit de clarté des intentions du pilote, avec une remise en question possible de son plan d'action initial de réaliser l'approche finale lors de sa dernière évolution. Le pilote annonce d'abord au MOB son intention d'atterrir à côté du restaurant, sans pour autant mentionner la trajectoire et l'axe envisagés pour approcher la zone. Le MOB se prépare alors à l'atterrissage en réalisant les vérifications d'usage et en passant à l'arrière. Quelques instants après, le pilote dit ne pas localiser la zone d'atterrissage et annonce qu'il « va repasser après et qu'il va voir ». Cela montre qu'il lui manque encore cette donnée nécessaire pour prendre sa décision de déposer des secouristes et du médecin. Cela témoigne d'un processus décisionnel perfectible du pilote, au travers d'une prise de décision hâtive omettant la vérification exhaustive de l'ensemble des éléments nécessaires à celle-ci, dont la localisation précise de sa zone d'atterrissage. De plus, l'expression « je vais repasser, je vais voir » est ambiguë, favorisant la mécompréhension des intentions du pilote par le MOB. Elle pourrait d'abord signifier le report du plan d'action initial du pilote par son intention de refaire un passage à proximité de la zone d'atterrissage pour la localiser précisément avant de procéder à une nouvelle évolution pour atterrir. Dans ce cas, le positionnement du MOB pourrait ne pas être idéal. L'expression du pilote pourrait aussi signifier qu'il a l'intention d'approcher la zone pour y atterrir en identifiant en très courte finale son point de poser précis. Le MOB poursuit alors ses actions en vue de l'atterrissage et demande l'autorisation d'ouvrir la porte arrière gauche, qui lui est accordée par le pilote.

Enfin, au moment de dégager, six secondes avant la collision, le pilote n'annonce pas qu'il interrompt son approche pour dégager. L'absence d'utilisation d'une phraséologie claire à cet instant a peut-être privé les autres occupants de l'hélicoptère, dont le MOB, d'adopter la meilleure position vis-à-vis de leur exposition au risque de blessures pendant cette manœuvre.

Un processus décisionnel incertain et incomplet ainsi qu'un déficit de clarté des intentions du pilote ont favorisé le positionnement adopté par le MOB au moment du dégagement.

2.4.3. Pratique et réglementation

Concernant les différents positionnements dans l'hélicoptère, adoptés par les MOB en fonction de la nature des phases du vol, des contraintes opérationnelles et environnementales et des techniques de dépose mises en œuvre, il semble que les pratiques soient différentes d'un MOB à l'autre et d'une base à l'autre, en fonction de la physionomie habituelle des missions, de la connaissance du secteur d'intervention, de la culture individuelle et du contexte opérationnel du moment. Au sein d'une base habituée à des missions comportant des temps de trajets très courts vers des lieux d'intervention en haute montagne, les MOB auront plutôt tendance à décoller de leur base en étant déjà positionné dans la soute cargo, le passage de la place avant à celle-ci nécessitant un peu de temps pendant lequel le MOB n'est plus disponible. Il ressort également que les éléments à prendre en compte dans la balance entre le bénéfice opérationnel escompté et le niveau d'exposition au risque généré par le positionnement choisi sont nombreux et variables d'une situation opérationnelle à l'autre. Par ailleurs, la réglementation ne contient pas de directive particulière à ce sujet.

La réglementation de la sécurité civile ne précise pas le positionnement du MOB en fonction des phases de vol de l'hélicoptère. Elle laisse ainsi libre cours à l'adoption de pratiques parfois en inadéquation avec le meilleur compromis entre le bénéfice opérationnel escompté et le niveau d'exposition au risque de blessures.

2.5. Élément d'intérêt relevé : méconnaissance d'un avertissement du manuel de vol de l'EC 145-C2

Le manuel de vol de l'EC 145-C2 mentionne dans sa section portant sur les procédures normales, au paragraphe 4.13.2 intitulé « Caractéristiques de commande latérale », que les pilotes doivent éviter les virages serrés à droite près du sol à des vitesses indiquées inférieures à 45 kt, afin de conserver une marge de commande latérale suffisante pour redresser l'hélicoptère. Cet avertissement écrit en majuscule et en gras est précédé de la mention « ATTENTION DANGER » qui met en garde le lecteur sur la nécessité d'appliquer cette consigne, l'absence d'application de celle-ci pouvant conduire à des blessures ou entraîner la mort. Même si elle n'en précise pas la valeur, il est admis qu'un virage est serré lorsque l'inclinaison en roulis est supérieure à 30°.

Au cours du dégagement, réalisé par un virage serré à faible vitesse et faible hauteur, le pilote n'est pas gêné par une marge de commande latérale insuffisante, ne cherchant pas à redresser l'hélicoptère parallèlement au sol avant de le heurter. Le déficit de manœuvrabilité en roulis lors de virages serrés à droite à faible vitesse, visé par l'avertissement du manuel de vol, ne contribue donc pas à la collision de l'hélicoptère avec le sol. Il n'est pas non plus à l'origine de difficultés empêchant le rattrapage de l'erreur de pilotage initiale ou d'une aggravation des conséquences de l'accident. Même s'il n'est pas facteur, il apparaît que cet avertissement n'est pas connu de tous les pilotes d'EC 145-C2 des autorités d'emploi étatiques, bien qu'il leur soit enseigné lors de leur qualification technique sur ce type d'hélicoptère.

Un avertissement du manuel de vol de l'EC 145-C2 recommande d'éviter les virages serrés à droite à faible vitesse et faible hauteur, afin de conserver une marge de commande latérale suffisante au cyclique pour redresser l'hélicoptère. Non contributif de l'accident, cet avertissement semble insuffisamment connu des pilotes d'EC 145-C2 des autorités d'emploi étatiques.

3. CONCLUSION

L'évènement est une collision du DRAGON 38 avec le sol en vol contrôlé.

#CFIT¹²

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

Le 12 septembre 2021 aux alentours de 16h, l'hélicoptère DRAGON 38 de la BH38 décolle pour une mission de secours en montagne médicalisée au profit d'un vétériste victime d'un traumatisme crânien sur la station de Villard-de-Lans. C'est la cinquième mission de la journée et l'équipage vient tout juste de déjeuner très rapidement, après une journée dense, sans aucune collation. Après dix minutes de transit, DRAGON 38 arrive sur le secteur d'intervention, situé en partie haute du versant ouest d'une ligne de crête peu marquée, culminant à 1 555 m d'altitude. Au moins cinq parapentistes évoluent sur ce secteur, mobilisant fortement l'attention du pilote. DRAGON 38 débute sa reconnaissance de la zone en actionnant sa sirène pour faire partir les parapentes l'un d'eux passant à 125 m de l'hélicoptère. Le pilote identifie rapidement les conditions d'une mission ne présentant pas de difficulté, à l'exception des parapentes. Il fait beau, la zone est assez peu accidentée et connue, le vent est faible et laminaire et la marge de puissance disponible est significative. Le pilote localise tardivement la victime, puis valide la proposition du MOB d'atterrir sur une zone plane située en haut du versant, à côté d'un restaurant, sans qu'il ait au préalable identifié précisément cette zone. Le MOB initie alors les vérifications avant atterrissage, réalisées en équipage, puis passe dans la soute cargo, en vue de l'atterrissage. Le pilote annonce, à la verticale de la zone de poser, ne pas la visualiser et qu'il « va repasser et va voir ». DRAGON 38 s'éloigne légèrement vers la pente descendante du versant à très faible vitesse, tandis que le MOB se positionne à la porte arrière gauche après avoir été autorisé par le pilote à l'ouvrir. Le pilote initie ensuite un demi-tour assez resserré par la droite. Alors qu'il s'étonne de ne pas se souvenir de l'emplacement de la zone de poser, l'hélicoptère arrive face à la pente, toujours en virage à presque 30° d'inclinaison. Le pilote s'aperçoit que sa vitesse indiquée est nulle et décide de dégager. Il poursuit alors son virage à droite en inclinant davantage la machine afin de la diriger vers la pente descendante. L'hélicoptère s'enfonce franchement, sous l'effet d'une inclinaison atteignant 50° et du taux de descente associé, et heurte la pente herbeuse. Puis il heurte frontalement un rocher qui provoque la rupture de la partie arrière de l'hélicoptère. La cellule fait plusieurs tonneaux et finit sa course une trentaine de mètres plus bas, sur un chemin. Les membres d'équipage valides évacuent l'appareil et transportent le MOB et le médecin à distance de l'épave qui prend feu très rapidement. Le MOB décède dans l'accident tandis que les quatre rescapés sont évacués par hélicoptère vers le centre hospitalier (CH) nord de Grenoble. L'hélicoptère est détruit.

3.2. Causes de l'évènement

L'accident du DRAGON 38 est dû à la combinaison des facteurs énoncés ci-après :

- la décision du pilote de réaliser un dégagement non nécessaire du point de vue aérodynamique, due à :
 - la conscience erronée du pilote de l'attitude en roulis de l'hélicoptère et de sa vitesse sol ;
 - la perception d'une situation du vol non conforme à l'attendu par le pilote ;
 - la représentation du pilote de la faisabilité d'une telle manœuvre ;
- la perte de hauteur supérieure à la marge disponible lors du dégagement, due à :
 - la situation défavorable de l'hélicoptère vis-à-vis de son environnement juste avant le dégagement ;
 - une erreur de pilotage générant une inclinaison trop forte en roulis au regard de la vitesse de l'hélicoptère et de sa hauteur ;
 - un maintien de la conscience erronée du pilote de l'attitude en roulis de l'hélicoptère pendant le dégagement ;
 - la décision de dégager par la droite ;
 - une action trop tardive et insuffisamment vigoureuse du pilote au pas collectif ;
 - un déficit de conscience du pilote d'une collision imminente avec le sol ;
 - un déficit de perception du terrain par le pilote sous la trajectoire de dégagement ;

¹² *Controlled flight into terrain* – collision avec le sol en vol contrôlé. Taxonomie du système de déclaration des données sur les accidents/incidents de l'organisation de l'aviation civile internationale : <https://www.icao.int/safety/airnavigation/aig/pages/adrep-taxonomies.aspx>.

- l'adoption de trajectoires en décalage avec les pratiques recommandées en vol en montagne, à partir de la localisation de la victime et jusqu'à l'initiation du dégagement. Ce choix trouve son origine dans :
 - la juste appréciation du faible risque externe de devoir dégager par le pilote ;
 - l'absence de conscience de son propre facteur de risque individuel par le pilote ;
 - la présence de parapentes sur la zone, contraignant le pilote dans le choix de ses évolutions ;
- le niveau de performance cognitive amoindri du pilote, au travers :
 - d'un déficit de dissociation d'attention ;
 - d'un déficit de contrôle instrumental ;
 - de probables illusions d'orientation ;
- les facteurs suivants influant sur le niveau de performances cognitives du pilote :
 - un certain niveau de fatigue mentale du pilote ;
 - une baisse de vigilance probable associée au début de la digestion ;
 - les contraintes physiologiques dues à une déshydratation partielle possible et à un apport nutritionnel insuffisant ;
 - un relâchement possible du pilote, lors de la dernière évolution, à l'origine d'une démobilisation potentielle de ses ressources.

4. RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

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

4.1.1. Meilleure prise en compte des facteurs humains individuels dans la gestion du risque opérationnel

L'accident faisant l'objet de ce rapport trouve sa principale origine dans les facteurs humains individuels et dans l'impact du faible niveau de difficulté de la mission sur ceux-ci (faible mobilisation des ressources). Ces facteurs ont probablement généré une diminution significative du niveau de performance cognitive du pilote, par une baisse de ses ressources disponibles et une démobilisation probable de celles-ci dans le dernier virage. Ils ont également contribué au choix de trajectoires non optimales par le pilote en fin d'intervention, favorisant la survenue de l'accident. Ces facteurs de risque sont d'autant plus cruciaux pour des équipages ne comportant qu'un pilote à bord, souvent seul en place avant, sans contrôle croisé efficient possible de leur pilotage de la trajectoire. Les équipages d'hélicoptères de la sécurité civile et de la gendarmerie opérant en montagne, en période de forte affluence touristique, sont fortement soumis à ces facteurs et à ces situations. En plus d'une meilleure sensibilisation à ces facteurs par des formations aux facteurs humains adaptées et régulières, le maintien d'une conscience permanente de ceux-ci par les équipages, notamment les pilotes lors de leurs missions, passe par une démarche de gestion du risque opérationnel permanente et adaptée intégrant ces facteurs. Une formation des mécaniciens de bord treuillistes dans ces domaines pourrait également les aider à développer leur capacité de détection des signaux faibles pouvant transparaître chez leurs pilotes et d'un pilotage inadapté des trajectoires.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à toutes les autorités d'emploi d'intégrer à leur démarche de maîtrise du risque aérien et opérationnel, notamment à sa déclinaison au profit de leurs équipages, les risques inhérents aux facteurs humains individuels et à l'impact du niveau de difficulté des missions sur ceux-ci.

R1 – [S-2021-18-A] Destinataires : DGSCGC, DGGN, DGDDI, DGA EV, CEMAAE, CEMM, CEMAT

4.1.2. Trajectoires, processus décisionnel et annonce des intentions

Les trajectoires adoptées par le pilote après sa localisation de la victime sont en décalage avec les pratiques recommandées en montagne. Elles contribuent à la situation défavorable de l'hélicoptère au moment de l'initiation du dégagement, favorisent la décision du pilote de dégager et son erreur de pilotage.

Le pilote prend sa décision de déposer des secouristes et du médecin et l'annonce de manière vraisemblablement hâtive, ne disposant pas de l'ensemble des éléments nécessaires à l'annonce de celle-ci. Il lui manque en effet la localisation de la zone d'atterrissage. Cela entraîne le MOB dans les actions de préparation à l'atterrissage, dont son passage à l'arrière possiblement anticipé et non optimal, dans le cas où le pilote aurait eu l'intention de réaliser un passage et non une approche finale.

Les communications au sein de l'équipage du DRAGON 38 ne sont pas suffisamment claires. Cela favorise la mécompréhension possible des intentions du pilote par le MOB ainsi que des actions de celui-ci possiblement inadaptées à la phase de vol en cours ou à venir.

En plus de la présence de parapentes contraignant le pilote dans le choix de ses évolutions, ces lacunes peuvent être dues à l'absence de conscience par le pilote des risques d'erreur inhérents aux facteurs humains individuels et à la dégradation de ses performances cognitives. Le niveau de difficulté de la mission et l'absence de mise en œuvre d'une technique particulière associée à une procédure, telle qu'un treuillage, les favorise également. Elles peuvent aussi être en partie dues à une dérive lente des pratiques, concernant toutes les organisations humaines, due à l'accumulation de l'expérience et générant un sentiment d'aisance et des habitudes s'éloignant peu à peu des standards initialement acquis et pratiqués.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à toutes les autorités d'emploi de prendre les mesures nécessaires à mieux contrer le phénomène de dérive des pratiques des équipages vis-à-vis des fondamentaux que constituent les trajectoires, le processus décisionnel et les annonces propres à la méthode de raisonnement des approches et des décollages en hélicoptère, notamment en montagne.

R2 – [S-2021-18-A] Destinataires : DGSCGC, DGGN, DGDDI, DGA EV, CEMAAE, CEMM, CEMAT

4.1.3. Positionnement du MOB à bord

Les MOB peuvent adopter différents positionnements dans l'hélicoptère, en fonction de la nature des tâches qu'ils ont à accomplir, au regard de la phase de vol en cours. Ils peuvent être installés en place avant gauche pour certaines phases, telles que la navigation, dans la soute cargo pour veiller à la préparation de celle-ci et des partenaires en vue de leur dépose, ou à la porte arrière gauche sur le patin pour des phases d'atterrissage ou de treuillage en campagne. Ces différents positionnements comportent des degrés plus ou moins importants d'exposition du MOB au risque de blessures, en cas d'aérologies très turbulentes, de manœuvres soudaines de l'hélicoptère ou d'accidents. Il apparaît que les pratiques en la matière ne sont peut-être pas toujours en adéquation avec le meilleur compromis entre le bénéfice opérationnel escompté et le degré d'exposition au risque. Dans le cas de l'évènement, le positionnement du MOB, potentiellement inadapté à la phase de vol en cours, a contribué à aggraver ses blessures.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à toutes les autorités d'emploi de réfléchir au meilleur positionnement de leurs mécaniciens de bord treuillistes au sein de leurs aéronefs en fonction des phases de vol, en visant toujours le meilleur compromis entre le bénéfice opérationnel escompté et leur niveau d'exposition au risque.

R3 – [S-2021-18-A] Destinataires : DGSCGC, DGGN, DGDDI, DGA EV, CEMAAE, CEMM, CEMAT

4.1.4. Présence de parapentes

Au cours du vol de l'évènement, le pilote a été gêné par plusieurs parapentes évoluant sur son secteur d'intervention, à la même altitude que lui et au-dessus. Ainsi, le pilote ne pouvait pas aérer ses trajectoires vers le sud et l'ouest, ce qui a probablement favorisé son choix d'adopter une trajectoire assez resserrée pendant la seconde partie de l'intervention. Le pilote était également plus sensible aux risques générés par la présence des parapentistes dans son secteur d'évolution. En effet, il avait lu quinze jours plus tôt les conclusions d'un rapport du bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile, portant sur la chute mortelle d'un parapentiste, provoquée par les turbulences de sillage d'un hélicoptère évoluant dans le même secteur, au vent de sa position. Cet évènement met en évidence le risque accru pour un hélicoptère d'évoluer au vent de la position d'un parapentiste, y compris à des distances de plusieurs centaines de mètres, en fonction de la force du vent.

La fédération française de vol libre diffuse à ses licenciés une plaquette de sécurité leur rappelant la priorité des hélicoptères en mission de secours. Elle leur recommande de s'espacer horizontalement d'eux d'un minimum de 500 m lorsqu'ils arrivent sur leur secteur de vol. Malheureusement, certains parapentistes, dont l'un de ceux présents sur le secteur d'intervention du DRAGON 38 le jour de l'évènement, ignorent ces consignes ou ne les respectent pas.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à la Fédération française de vol libre de renforcer sa sensibilisation des usagers du vol libre aux risques générés par le vol sous le vent d'un hélicoptère et à la conduite à tenir lorsqu'un hélicoptère arrive sur leur secteur de vol pour une intervention.

R4 – [S-2021-18-A] Destinataire : Fédération française de vol libre

4.1.5. Application des règles hygiéno-diététiques

Lors de sa journée d'alerte du vol de l'évènement, le pilote a peut-être souffert d'une baisse de ses performances cognitives, du fait d'une possible déshydratation et d'un apport nutritionnel insuffisant. Cette situation a notamment été causée par l'enchaînement de missions ce jour-là, qui a repoussé le moment du repas à 15h45, et par l'absence très probable de prise de collation par le pilote avant cette échéance. Cette dernière est d'ailleurs contraire aux conseils prodigués en la matière dans les consignes permanentes de sécurité aérienne du GHSC. Il est également possible que le pilote ait sous-estimé l'impact potentiel de cette situation sur son niveau de performance et préféré attendre de bénéficier d'un temps suffisamment long entre deux missions pour profiter d'un repas amélioré préparé à la base. La nature du repas pris par le pilote à 15h45, très riche et composé de sucres lents, et la rapidité avec laquelle il a été pris, a favorisé une baisse probable de sa vigilance. Le pilote ne profitait par ailleurs pas de l'apport nutritionnel des aliments tout juste avalés, induisant la consommation de ressources supplémentaires pour maintenir sa glycémie constante.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à toutes les autorités d'emploi de prendre les mesures nécessaires à favoriser le respect des règles hygiéno-diététiques par leurs équipages.

R5 – [S-2021-18-A] Destinataires : DGSCGC, DGGN, DGDDI, DGA EV, CEMAAE, CEMM, CEMAT

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

4.2.1. Méconnaissance d'une consigne du manuel du vol de l'EC 145-C2

Un avertissement des procédures normales du manuel de vol de l'EC 145-C2 demande d'éviter les virages serrés à droite en basse vitesse et basse hauteur, du fait d'une diminution de la marge de commande latérale à gauche dans ce cas, qui pourrait réduire la capacité du pilote à remettre à plat l'hélicoptère à temps. Cette consigne n'est pas à l'origine de l'évènement car le pilote n'a pas été entravé dans ses actions aux manchettes cycliques par un débattement moindre en roulis à gauche au cours du dégagement. Le pilote n'a en effet pas cherché à remettre l'aéronef à plat avant la collision et était très loin des butées de commandes, notamment autour de l'axe de roulis. Pour autant, il apparaît que les pilotes d'hélicoptère de la sécurité civile n'ont pas tous conscience de cet avertissement bien qu'il leur soit enseigné lors de leur qualification technique sur EC 145 C-2, notamment en vol.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à la DGSCGC et à la DGGN de s'assurer de la connaissance par leurs pilotes d'EC 145 C-2 de l'avertissement de son manuel de vol pointant le risque de réaliser des virages serrés à droite à faible vitesse et faible hauteur du fait d'une réduction de la marge de commande en roulis à gauche dans ces situations.

R6 – [S-2021-18-A] Destinataires : DGSCGC, DGGN

PAS DE TEXTE