



Rapport Sommaire

Concernant le présent accident, une enquête sommaire a été conduite selon l'article 46 de l'ordonnance du 17 décembre 2014 sur les enquêtes de sécurité en cas d'incident dans le domaine des transports (OEIT), état le 1^{er} juillet 2024 (RS 742.161). Le seul objectif de l'enquête sur un accident ou un incident grave est la prévention des accidents ou des incidents graves. L'enquête de sécurité et le présent rapport n'ont expressément pas pour but d'établir une culpabilité ou une responsabilité. Si ce rapport est utilisé à d'autres fins que la prévention des accidents, il convient d'en tenir compte.

La version de référence de ce rapport est rédigée en langue française.

| | | | |
|-----------------------------|---|--|-------------------------|
| Type d'aéronef | Aerospatiale, SA 315 B Lama | HB-XII | |
| Exploitant | Air Zermatt AG, Postfach 177, 3920 Zermatt | | |
| Propriétaire | Air Zermatt AG, Postfach 177, 3920 Zermatt | | |
| Pilote | Citoyen suisse, né en 1987 | | |
| Licence | Licence de pilote professionnel d'hélicoptères (<i>Commercial Pilot Licence Helicopter</i> – CPL(H)) selon l'Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne (<i>European Union Aviation Safety Agency</i> – EASA), établie par l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) | | |
| Heures de vol | total 357:40 h | au cours des 90 derniers jours 5:28 h | |
| | sur le type en cause 49:35 h | au cours des 90 derniers jours 5:28 h | |
| Lieu | Place d'atterrissage en montagne Alphubel (LSVF) | | |
| Cordonnées | --- | altitude 3839 m/M | |
| Date et heure | 18 décembre 2021, 10h24 (LT ¹ = UTC ² + 1 h) | | |
| Type d'exploitation | Privé | | |
| Règles de vol | Règles de vol à vue (<i>Visual Flight Rules</i> – VFR) | | |
| Lieu de départ | Place d'atterrissage en montagne Unterrothorn (LSYU) | | |
| Destination | Place d'atterrissage en montagne Alphubel (LSVF) | | |
| Phase de vol | Atterrissage | | |
| Nature de l'accident | Perte de contrôle en vol avec atterrissage dur | | |
| Personnes blessées | Membres d'équipage | Passagers | Autres personnes |
| Pas blessés | 1 | 3 | sans objet |
| Dommages à l'aéronef | Fortement endommagé | | |
| Autres dommages | Aucun | | |

¹ LT : *Local Time*, l'heure locale

² UTC : *Universal Time Coordinated*, l'heure universelle coordonnée

Renseignements de base

Généralités

Le déroulement de l'accident a été établi à l'aide des informations du pilote, des passagers, des données enregistrées par le système anticollision Flarm et du Spidertrack³ ainsi que les images vidéo d'une caméra⁴ emportée à bord de l'hélicoptère.

Il s'agissait d'un vol de plaisance de nature privée. Le pilote avait pris en location l'hélicoptère de l'entreprise de transport aérien.

Faits antécédents

Le matin du 18 décembre 2021, le pilote se rend à l'héliport de Rarogne (LSER) et y prépare au vol l'hélicoptère SA 315 B Lama immatriculé HB-XII. Le but des vols de ce jour est de transporter, en plusieurs rotations et en effectuant un bref vol panoramique, une dizaine de personnes entre les places d'atterrissage en montage de l'Unterrothorn (LSYU, 3087 m/M, 9810 ft AMSL) et de l'Alphubel (LSVF, 3839 m/M, 12598 ft AMSL). Après une courte pause, les passagers doivent être ramenés à l'Unterrothorn. Le rendez-vous avec les passagers est fixé à l'Unterrothorn où le pilote prévoit d'arrêter l'hélicoptère pour effectuer un briefing.

Le pilote effectue la préparation du vol et, à l'aide du personnel d'Air Zermatt, l'hélicoptère est avitaillé avec le plein de carburant Jet A-1, soit 555 litres⁵.

A 9h20, comptant à bord le pilote et 2 passagers, la machine décolle de Rarogne à destination de l'Unterrothorn, où il atterrit à 09h41. Le pilote y trouve ses passagers et les informe du déroulement du vol à suivre.

Le pilote est équipé d'écouteurs de type « oreillette » à réduction active du bruit (*Active Noise Reduction – ANR*), sans casque de protection. Les passagers sont équipés d'écouteurs classiques avec ANR.

Déroulement du vol objet de l'accident

A 10h10 le pilote, accompagné des 3 premiers passagers, décolle de l'Unterrothorn pour le premier vol en direction de l'Alphubel. La masse totale de l'hélicoptère à ce moment est d'environ 1914 kg.

Le survol s'effectue normalement. A 10h17, conservant un cap nord-est et à une altitude indiquée de 3888 m/M, il survole une première fois la place d'atterrissage envisagée (voir Figure 1). Il observe le petit drapeau qui est implanté comme référence visuelle auprès de la zone d'atterrissage et juge qu'il n'y a pas de vent. L'hélicoptère effectue quelques oscillations autour de l'axe de lacet.

Après ce passage rectiligne, il effectue une large boucle à main gauche en passant devant l'Allalinhorn puis, sur un cap sud-ouest (face au Cervin), se présente en finale pour l'atterrissage, ce qu'il annonce également par radio sur la fréquence montagne (voir Figure 2, ①). En très courte finale, l'approche est interrompue et l'hélicoptère effectue un autre passage rectiligne à proximité immédiate de la place d'atterrissage envisagée à une hauteur de quelques mètres sol.

Immédiatement après le survol du sommet, le pilote effectue une boucle main droite, annonce à ses passagers son intention de procéder à l'atterrissage et précise qu'il n'y a pas de vent. Après un virage d'environ 280° par rapport à l'axe de la première approche, il se représente pour une approche courte sur un cap d'environ 170° (voir Figure 2, ②). L'hélicoptère présente

³ Système de surveillance des vols permettant de suivre en temps réel les traces de vol.

⁴ Il s'agissait d'une caméra du genre « *Action-Cam* »

⁵ Le Jet-A1 a une densité d'environ 0.82 kg/lt, ce qui correspond à un poids du carburant de 455 kg

des changements d'assiette en tangage et en lacet répétés. En courte finale en direction S-SE, l'hélicoptère s'enfoncé et, avec une vitesse sol (*Ground Speed – GS*) résiduelle, prend une première fois contact avec le sol de manière franche (voir Figure 2, ligne verte, ③). L'hélicoptère rebondit et, après quelques dizaines de mètres franchis en vol, reprend contact avec le sol en glissant sur la neige. Des vibrations similaires à de la résonance au sol se développent.

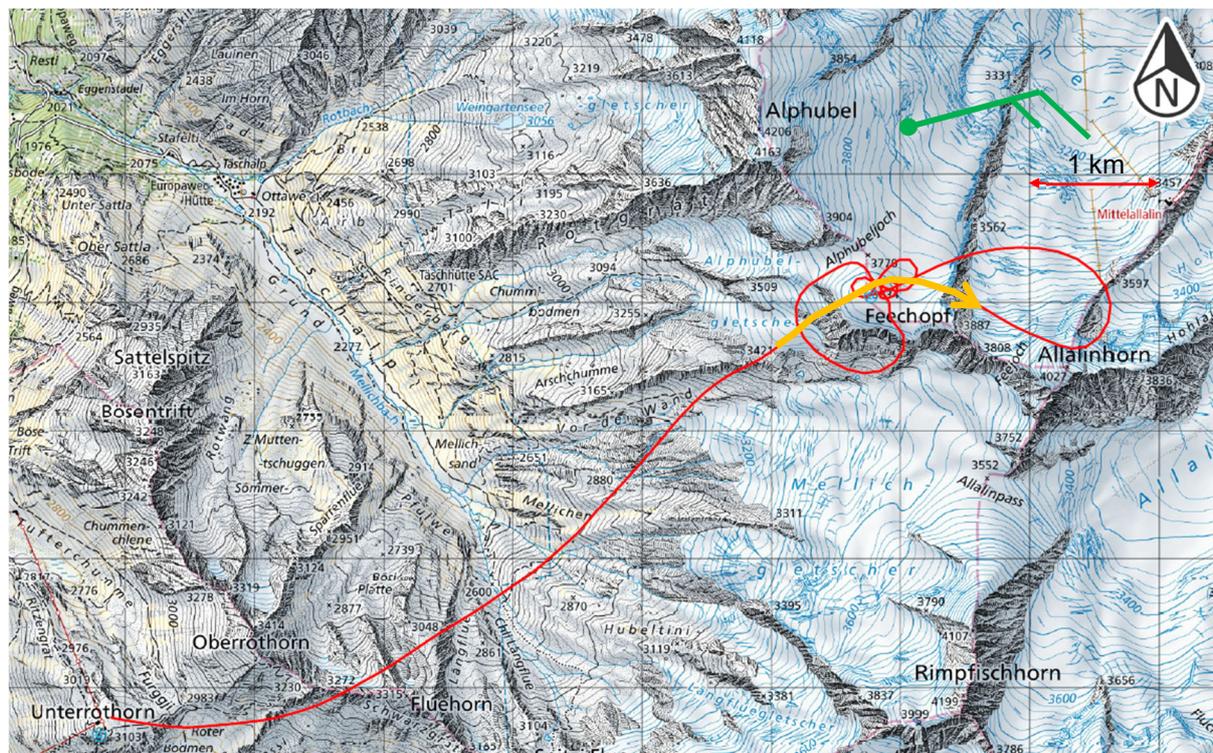


Figure 1 : Vue de la trajectoire complète du vol objet de l'accident du HB-XII, selon les données Flarm. Le trait en orange met en évidence le premier survol de la place d'atterrissage en montagne de l'Alphubel. Le symbole en vert indique la direction principale et la force du vent selon les prévisions. Source de la carte de base : office fédéral de topographie swisstopo

Le pilote précise aux passagers vouloir positionner l'hélicoptère différemment et remet l'hélicoptère en vol stationnaire. L'angle de pas général⁶ affiché varie alors entre 0.7 et 0.8 et le souffle rotor (*downwash*) soulève un peu de neige, transportée par le vent du nord-est vers le sud-ouest. Une légère rotation sur l'axe de lacet vers la gauche en vol stationnaire positionne l'hélicoptère en pente descendante en direction de l'E-NE et le pilote reprend de la vitesse pour effectuer une nouvelle volte. Après un circuit main gauche très court et à une vitesse située en-dessous de la vitesse de transition, la nouvelle tentative d'atterrissage (Figure 2, ④ - ligne bleue) est à nouveau interrompue. Le pilote reprend de la vitesse et effectue un large circuit à main droite ayant pour but d'alléger la masse totale en brûlant du carburant (voir Figure 2, ⑤). A une très faible hauteur et une vitesse indiquée nulle, l'hélicoptère effectue un nouveau passage à proximité de la place d'atterrissage en direction du sud-est.

A la suite de ce dernier passage, à 10h24, le pilote effectue une courte volte à main gauche et positionne l'hélicoptère en finale, sur un cap W-SW (voir Figure 2, ⑥). En courte finale, l'hélicoptère s'enfoncé et rentre en contact avec le sol de manière dure et avec une vitesse sol résiduelle (voir Figure 2, ligne rouge foncé).

⁶ Le descriptif « pas général » est utilisé pour indiquer la commande du pas collectif

Pendant la phase finale de cette dernière approche, durant les 6 secondes précédant l'impact, le pas général (voir chapitre « Performance et calcul de puissance ») oscille entre 0.75 et 0.87 (voir Figure 3, ③).

Immédiatement après la prise de contact avec le sol, les pales heurtent la cellule et l'appareil s'immobilise après avoir subi une rotation en lacet vers la droite d'environ 100°. Tous les occupants, indemnes, évacuent l'hélicoptère.

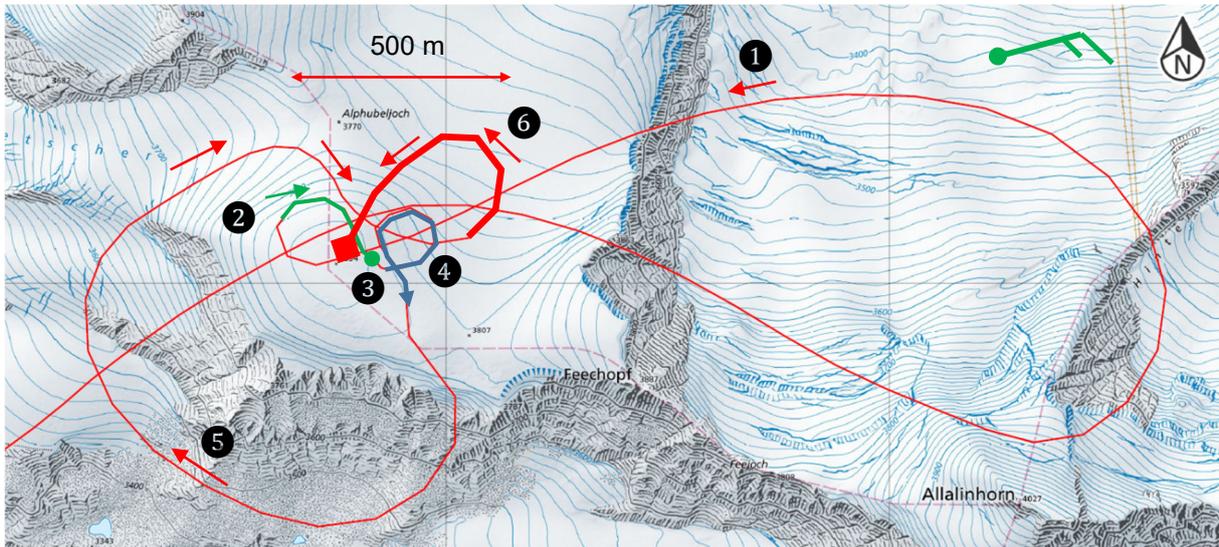


Figure 2 : Vue détaillée des différentes approches effectuées sur l'Alphubel par le HB-XII. En vert est mis en évidence le circuit avec le premier touché franc (point rond vert), en gris est mis en évidence le circuit court après le premier touché, en rouge est mis en évidence le circuit objet de l'accident. La position finale est signalée par le carré rouge. Source de la carte de base : office fédéral de topographie swisstopo.

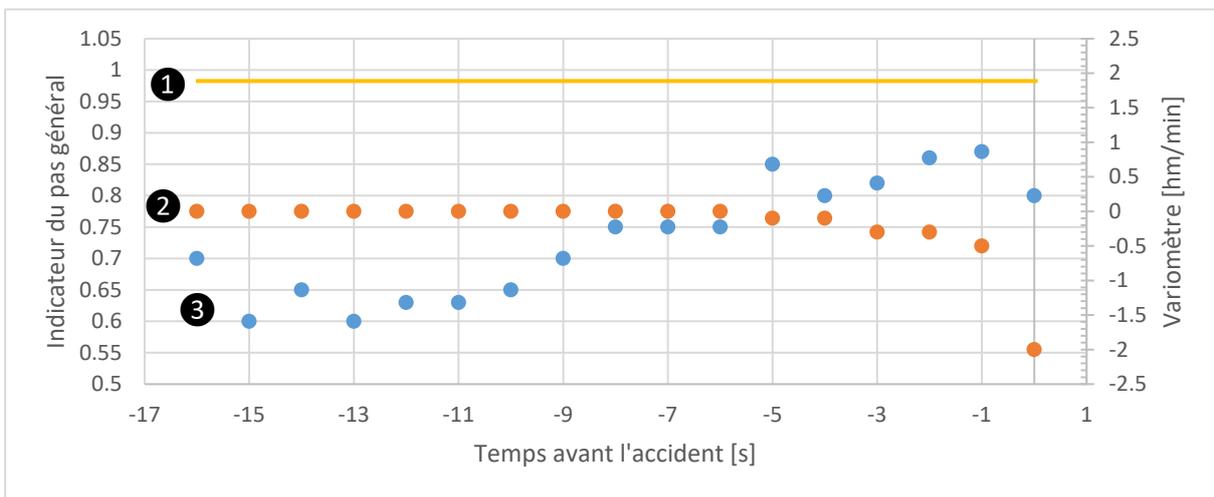


Figure 3 : Graphique du pas général maximal possible le jour de l'accident (①, ligne jaune), du pas général affiché (③, points bleus) et de la vitesse verticale (②, points orange) pendant les 16 secondes avant l'impact.

Constatations

Formation et expérience du pilote

Le pilote a débuté sa formation aéronautique en juillet 2014 et obtenu la licence de pilote privé à Londres, au Royaume Uni, en décembre 2014 sur un hélicoptère à piston de type Robinson R22.

Dès la fin du mois de janvier 2015 il a commencé la formation pour les atterrissages en montagne (MOU) sur Robinson R44 Raven II et a passé l'examen de qualification sur ce type en mars 2015. Accompagné de 3 instructeurs différents, il a effectué 5 vols d'instruction sur SA315B Lama, dont 4 vols d'instruction MOU, entre le 12 et le 31 octobre 2015. Un vol d'instruction sur SA315B a eu lieu le 24 avril 2016. La formation MOU a repris le 16 juillet 2018 sur Robinson R66. Le 7 novembre 2018 il a passé l'examen de qualification sur Robinson R66 et l'examen de compétence pour les atterrissages en montagne MOU. Pendant la formation MOU le pilote a effectué plusieurs vols avec des atterrissages à l'Alphubel.

Les vols d'instruction sur SA315B LAMA ont repris en octobre 2019 pour la formation de pilote professionnel (CPL(H)) et l'examen de qualification sur ce type a été passé le 29 octobre 2019.

Ne disposant pas des 50 atterrissages en montagne durant les 12 derniers mois, le pilote a effectué un vol de contrôle spécifique (*Mountain Recurrent Check – MOR*) avec un instructeur en date du 21 mars 2021.

Préparation du vol

La préparation météorologique de vol indiquait une tendance générale de vent du nord-est, de force faible à modérée. Durant sa préparation de vol, le pilote a estimé que la température minimale à l'Alphubel ne serait pas inférieure à -10°C et a instruit ses passagers de s'habiller de façon adaptée à ces conditions. Le pilote n'a pas pris en considération l'utilisation d'oxygène ni pour lui, ni pour les passagers.

Le calcul des performances a été effectué par le pilote en consultant les tables du manuel de vol. Il n'a pas considéré l'utilisation du calculateur analogique (*Computer*) du pas général maximal admissible (voir Figure 4) et ne se rappelle pas avoir fait des réglages de la couronne mobile avant le départ. Il a déterminé le pas général maximal admissible pour les conditions du jour selon son expérience sur cet hélicoptère.

Performance et calcul de puissance

Le SA315B Lama est un appareil conçu dans les années 1960 dont la masse maximale au décollage est de 1950 kg. Doté d'une turbine liée fournissant une puissance nominale au décollage de 870 ch (conditions ISA, niveau de la mer), la puissance maximale effective au décollage est limitée à 570 ch sous contrôle du pilote pour ne pas dépasser les limites d'entrée de la boîte de transmission principale. En conditions standards, la puissance de 570 ch est disponible jusqu'à environ 4'000 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Pour ne pas dépasser la limite de puissance de la boîte de transmission principale, le pilote dispose d'un indicateur de pas général dont la graduation s'étend de 0 (commande du pas collectif en butée basse) à 1 (grand pas, commande du pas collectif en butée haute). Pour des conditions atmosphériques données, le pilote doit définir quel est le pas général à ne pas dépasser. Ce calcul se fait à l'aide du calculateur analogique situé autour de l'indicateur de pas général et disposant d'une graduation fixe et d'une couronne mobile. Dans le cas présent, le calculateur du HB-XII affichait un résultat qui ne reflétait pas les conditions du jour (voir Figure 4). Le pilote a estimé le pas maximal à 0.95 selon son expérience sur cet hélicoptère. Le pas maximal admissible selon les conditions du jour était environ 0.98 (voir Figure 3, ①).

Selon le tableau des performances du manuel d'exploitation de l'aéronef et en tenant compte des conditions atmosphériques du jour de l'accident, le plafond maximal permettant un vol stationnaire hors effet de sol (*Hover Out of Ground Effect – HOGE*) est de 4500 m/M.

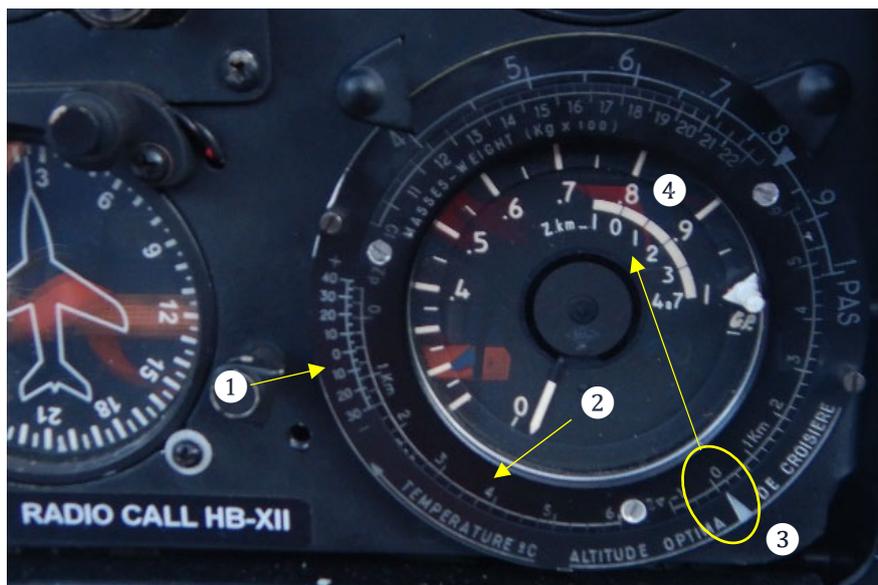


Figure 4 : Image du calculateur du HB-XII prise lors de l'inspection de l'épave retrouvée avec les réglages correspondants environ à l'atmosphère standard au niveau de la mer. Pour effectuer le réglage avec les paramètres valables le jour de l'accident, le pilote aurait d'abord dû faire correspondre la température extérieure prévue au lieu d'atterrissage ① avec l'altitude du lieu d'atterrissage ② en tournant la couronne mobile. La valeur ainsi trouvée ③ aurait dû être transposée sur l'arc blanc en position ④, où finalement la valeur du pas maximal aurait pu être lue.

Conditions météorologiques

Une puissante zone de haute pression centrée sur les îles britanniques continuera d'influencer le temps en Suisse dans les jours à venir, les Alpes se trouvent sur le bord sud-est provoquant un courant de bise dans les basses couches, au Nord des Alpes, lac d'air froid et humide sur le Plateau et en altitude la masse d'air est sèche et douce.⁷

Conditions météorologiques locales au moment où s'est produit l'accident

| | |
|--|---|
| Météo / nuages | Temps anticyclonique sec et sans nuages sur les Alpes valaisannes |
| Visibilité | 70 km ou plus |
| Vent | 075° à 15 kt, rafales jusqu'à 22 kt ^{8,9} |
| Température / point de rosée | -5 °C / -25 °C |
| Température actuelle lue sur une image vidéo | -4°C |
| Pression atmosphérique QNH ¹⁰ | Alphubel : 1036 hPa (altitude densité 3820 m/M) |
| Dangers | Aucun pour la région du site d'accident |

⁷ Prévision aéronautique pour la Suisse valable pour le samedi 18 décembre 2021 et les 3 jours suivants, publiée par MétéoSuisse le samedi 18 décembre 2021, édition de 05:00 UTC.

⁸ Valeur moyenne des analyses COSMO pour 09 et 10 UTC

⁹ COSMO : *Consortium for Small-scale Modeling* - Modèle numérique de prévision météorologique pour la réalisation de produits de prévision régionaux et locaux dans l'espace alpin à la topographie complexe.

¹⁰ QNH : pression réduite au niveau de la mer, calculée selon l'atmosphère standard de l'aviation civile internationale (OACI)

Masse et centrage

Au décollage de l'Unterthorn, l'hélicoptère HB-XII avait une masse d'environ 1914 kg. La masse et le centre de gravité étaient dans les limites prescrites par le manuel d'exploitation de l'aéronef (*Aircraft Flight Manual – AFM*). Au moment de l'atterrissage objet de l'accident à l'Alphubel, l'hélicoptère avait une masse d'environ 1880 kg.

Place d'atterrissage en montagne de l'Alphubel

La place d'atterrissage en montagne de l'Alphubel se trouve entre le Mattertal, à l'ouest, et le Saastal, à l'est, au nord-ouest de l'Allalinhorn, à une altitude de 3839 m/M. La place d'atterrissage a la forme d'un large dôme avec une zone plate d'une centaine de mètres de diamètre à son sommet permettant un vol stationnaire dans l'effet de sol (*In Ground Effect – IGE*). La topographie autour de la place permet une approche de différentes directions, ce qui est favorable aux approches dans différentes situations de vent.

Lors de l'approche finale, les pilotes doivent considérer l'effet orographique du vent : sur le côté au vent une couche d'air montant se développe tandis que sur le côté sous le vent, un courant descendant a lieu. Le vecteur du vent au-dessus du plateau devient parallèle au terrain (voir Figure 5).

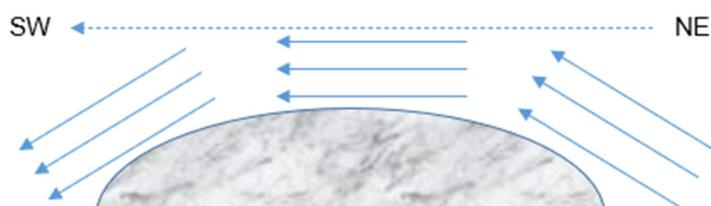


Figure 5 : Section schématique de la place d'atterrissage de l'Alphubel, dans l'axe NE – SW. Les vecteurs en bleu représentent le courant d'air du vent. Par temps de bise, un hélicoptère qui effectue l'approche du quadrant NE se trouvera soumis d'abord à un vent de dos ascendant, puis à un vent de dos avec composante verticale nulle et enfin à un vent de dos descendant.

Constatations des dégâts

L'hélicoptère HB-XII a subi d'importants dégâts lors de cet accident (voir Figure 6).



Figure 6 : Position finale du HB-XII, le turbomoteur a été séparé de la cellule et se trouve à côté du fuselage. La poutre de queue a été sectionnée.

Entre autres, les constatations suivantes ont été faites :

- Le turbomoteur a été arraché de ses ancrages et s'est retrouvé dans la neige à côté de l'hélicoptère
- Le rotor de queue avec la boîte de transmission arrière ont été séparés par les pales du rotor principal.
- Les pales du rotor principal étaient fortement endommagées voire détruites.
- La boîte de transmission principale était fortement inclinée vers l'arrière et partiellement arrachée de ses ancrages.
- Les biellettes de changement de pas et de commande sur la tête rotor étaient rompues.
- La cabine des passagers a été déformée par le choc et s'est affaissée vers l'avant.
- Le plexiglas cabine s'est rompu à plusieurs endroits, probablement sous l'effet de torsion de la structure. Aucune pale n'a pénétré dans la cabine.
- Suite à l'impact, les rails de fixation du siège du pilote et du passager avant ont été arrachés. Les points d'attache des ceintures ont tenu (voir Figure 7).



Figure 7 : Siège du côté pilote, arraché de ses rails de fixation. Les points d'attache des ceintures ont tenu.

Analyse

Aspects techniques et de survie

Au moment de l'impact les paramètres turbine étaient normaux et il n'y avait pas d'indices sur une avarie des commandes de vol. L'enquête n'a révélé aucune défectuosité technique ayant pu provoquer l'accident ou y contribuer. L'enquête n'a pas pu déterminer si le premier touché franc avait provoqué des endommagements.

Le pilote et les passagers ne portaient pas de casque intégral, donc il n'y avait aucune protection pour la tête¹¹.

En tenant compte de l'amplitude des dégâts subis par l'hélicoptère, seul un concours de circonstances fortuites a permis que ni le pilote ni les passagers ne soient blessés.

Aspects opérationnels

Lors des 5 survols du site d'atterrissage précédant l'accident, les oscillations autour de l'axe de lacet, les vitesses sol (GS) notables malgré des vitesses indiquées faibles voire nulles et la présence de neige soufflée en effet de sol en direction du sud-ouest n'ont pas été perçus par le pilote comme des signes de la présence de vent. Durant le survol du site d'atterrissage, le pilote a cherché confirmation de l'absence de vent en focalisant son attention sur le petit drapeau balisant le site d'atterrissage. Ces drapeaux, bien que pouvant aider à estimer la direction et la force du vent, doivent être considérés avec prudence car, par températures négatives ou proches du 0 °C, le tissu ou la matière plastique souple qui le compose peut se rigidifier sous l'effet du gel et reste alors insensible au vent.

Lors de la première approche, l'hélicoptère a subi un premier atterrissage involontaire avec prise de contact du sol de manière franche. Cette approche, ainsi que les suivantes, ont consisté en des finales extrêmement courtes et ont été principalement effectuées sur un cap sud-ouest, vent de dos, avec des vitesses indiquées légèrement supérieures, égales ou inférieures à la vitesse de transition.

L'angle d'approche en courte finale a été effectué avec un taux de chute quasi-nul et la faible déclivité du terrain sur la pente nord-est de l'Alphubel laissent exclure le développement d'un vortex (*Vortex Ring State* – VRS).

En courte finale, proche de l'endroit où le terrain s'aplatit, la perte de portance due au passage de la transition simultanée à la perte de la composante verticale du vent de dos n'a pas été compensée par le pilote avec une augmentation adéquate du pas général.

Au contact avec le sol, le pas affiché de 0.8 correspondait à 81,6% du pas général maximal admissible de 0.98 dans ces conditions. Considérant la masse d'environ 1880 kg et le taux de chute entretemps rejoint, le pas général utilisé, et donc la puissance, ne suffisait pas à arrêter la descente de l'hélicoptère avant de percuter le sol.

Le manque de prise en compte de la situation météorologique générale, les nombreux survols et approches interrompues et effectuées dans la direction la plus défavorable, les trajectoires aléatoires et les vitesses faibles voire nulles indiquent un manque de systématique de la reconnaissance.

L'enquête n'a pas permis d'exclure avec certitude que le pilote n'a pas agi selon un schéma d'approche préconçu lié à des atterrissages antérieurs sur ce site.

La proximité permanente de la place d'atterrissage laisse également supposer que le pilote était pris d'une fascination pour l'objectif. Celle-ci se produit lorsqu'une personne a une vision

¹¹ Le SESE a publié une recommandation de sécurité sur ce sujet dans le [rapport final numéro 2001](#), concernant l'accident de l'hélicoptère HB-XQS au col de la Flüela survenu le 5 mars 2006.

« tunnel » et est à ce point fixée sur son objectif qu'elle évite d'analyser de manière critique les informations objectives disponibles éventuellement discordantes à ses avis préconçus.

La procédure usuelle et commune veut que, après plusieurs approches interrompues, un pilote fasse preuve de sens critique et, soit renonce à l'atterrissage sur ce site, soit modifie sa tactique de vol après avoir à nouveau analysé objectivement la situation.

Conclusions

L'accident au cours duquel l'hélicoptère a pris contact durement avec le terrain accidenté, recouvert de neige et glace, à une vitesse sol résiduelle basculant en tangage vers l'avant, est due à la perte de contrôle partielle sur la vitesse sol et le taux de chute suite à une technique d'approche et d'utilisation de la puissance disponible non adaptées aux conditions de vent du jour.

Ont contribué à l'accident :

- La systématique lacunaire de la reconnaissance ;
- L'approche effectuée avec du vent de dos sans que le pilote en soit conscient ;
- Un manque de vue d'ensemble causé par le cumul d'une possible idée préconçue, l'utilisation acritique d'informations discordantes et une fascination pour l'objectif.

Berne, le 17 juin 2025

Service suisse d'enquête de sécurité