



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT

D'ENQUÊTE DE SÉCURITÉ



BEAD-air-G-2014-018-A

Date de l'événement 13 octobre 2014

Lieu Les Aiguilles Rouges de Bassiès (Ariège)

Type d'appareil EC 145 n° 9173

Immatriculation F-MJBT

Organisme Commandement des forces aériennes de gendarmerie

Unité Détachement aérien de la gendarmerie de Pamiers

AVERTISSEMENT

COMPOSITION DU RAPPORT

Les faits, utiles à la compréhension de l'événement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'analyse des causes possibles de l'événement fait l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes retenues. Enfin, des recommandations de sécurité sont proposées dans le dernier chapitre. Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heures locales.

UTILISATION DU RAPPORT

L'unique objectif de l'enquête de sécurité est la prévention des accidents et incidents sans détermination des fautes ou des responsabilités. L'établissement des causes n'implique pas la détermination d'une responsabilité administrative civile ou pénale. Dès lors toute utilisation totale ou partielle du présent rapport à d'autres fins que son but de sécurité est contraire à l'esprit des règlements et relève de la responsabilité de son utilisateur.

CRÉDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page de garde : BEAD-air

Photos :

- Pages 7, 14 à 16, 18 à 21 : BEAD-air

Illustrations :

- Pages 8, 22 à 24 : BEAD-air
- Pages 34 à 37 : ESALAT

TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT	2
CRÉDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS	2
TABLE DES MATIÈRES	3
GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS	5
1. Renseignements de base	7
1.1. Déroulement du vol	7
1.2. Tués et blessés	9
1.3. Dommages à l'aéronef	9
1.4. Autres dommages	9
1.5. Renseignements sur le personnel	10
1.6. Renseignements sur l'aéronef	11
1.7. Conditions météorologiques	12
1.8. Aides à la navigation	12
1.9. Télécommunications	12
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	13
1.11. Enregistreurs de bord	13
1.12. Renseignements sur la zone de l'événement et sur l'appareil	13
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	15
1.14. Incendie	15
1.15. Organisation des secours	15
1.16. Essais et recherches	16
1.17. Renseignements sur les organismes	16
1.18. Renseignements supplémentaires	16
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	16
2. Analyse	17
2.1. L'état de vortex – <i>vortex ring state</i> (VRS)	17
2.2. Reconstitution du scénario de l'événement	17
2.3. Recherche des causes de l'événement	22
3. Conclusion	29
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement	29
3.2. Causes de l'événement	29
4. Recommandations de sécurité	31
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	31
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	31
ANNEXES	33
ANNEXE 1 LE VORTEX –VRS OU ETAT D'ANNEAUX TOURBILLONANAIRES	34
ANNEXE 2 LA COURBE DE PUISSANCE D'UN HELICOPTERE	37

GLOSSAIRE

CEMPN	centre d'expertise médical du personnel naviguant
CVFDR	<i>cockpit voice and flight data recorder</i> – enregistreur de voix et de paramètres
DAG	détachement aérien de la gendarmerie nationale
DES	dans l'effet de sol
ESALAT	école de spécialisation de l'aviation légère de l'armée de terre
HES	hors effet de sol
IFR	<i>instrument flight rules</i> – règles de vol aux instruments
PGHM	peloton de gendarmerie de haute montagne
VRS	<i>vortex ring state</i>

SYNOPSIS

Date de l'événement : 13 octobre 2014

Lieu de l'événement : Aiguilles rouges de Bassiès (massif des Pyrénées)

Organisme : gendarmerie nationale

Commandement organique : commandement des forces aériennes de la gendarmerie nationale (CFAGN)

Unité : détachement aérien de la gendarmerie nationale (DAG) de Pamiers

Aéronef : hélicoptère EC 145

Nature du vol : exercice de secours en haute montagne¹ au profit d'un peloton de gendarmerie de haute montagne (PGHM)

Nombre de personnes à bord au moment de l'événement : 4 dont 1 sous treuil

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Le 13 octobre 2014, lors d'une mission dans le massif des Aiguilles rouges de Bassiès (09) au profit d'un PGHM, un EC 145 perd soudainement de l'altitude au cours d'un « treuillage sur paroi ». Le pilote de l'appareil initie une manœuvre de dégagement au cours de laquelle la personne treuillée heurte la paroi rocheuse et se blesse grièvement.

Composition du groupe d'enquête de sécurité

- Un directeur et un directeur adjoint d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air).
- Un enquêteur de première information (EPI).
- Un officier pilote ayant une expertise sur EC 145.
- Un officier mécanicien de bord treuilliste ayant une expertise sur EC 145.
- Un médecin du personnel navigant.
- Un officier référent facteurs humains et organisationnels du BEAD-air.

Autres experts consultés

- Un pilote d'essai spécialisé sur EC 145.
- Un ingénieur responsable de la sécurité de la flotte EC 145 d'Airbus Hélicoptère.
- Un ingénieur spécialiste de la dynamique du vol sur hélicoptère de l'office national d'études et de recherches aérospatiales (ONERA).
- Direction générale de l'armement Essais propulseurs – Reseda (DGA EP/RESEDA).

Déclenchement de l'enquête de sécurité

Le CFAGN informe le BEAD-air de l'accident le 13 octobre 2014 à midi. L'enquête est déclenchée par le BEAD-air le 13 octobre en fin de journée. Elle débute le 14 en milieu d'après-midi lorsque l'EPI commence ses investigations. Le groupe d'enquête est réuni le 15 octobre au matin sur le site de Pamiers.

¹ Le vol en haute montagne est défini par la gendarmerie nationale comme un vol à une altitude de plus de 2 000 m (environ 6 600 ft) par rapport au niveau moyen de la mer.

PAS DE TEXTE

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Indicatif mission : Choucas 09

Type de vol : CAG VFR²

Type de mission : entretien des compétences opérationnelles d'unités spécialisées³

Dernier point de départ : Tarascon-sur-Ariège (stade municipal)

Heure de départ : 11h49

Point de dépose prévu : secteur des Aiguilles rouges de Bassiès

Point d'atterrissage prévu de l'aéronef : aérodrome de Pamiers – Les Pujols

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

La mission est réalisée dans le cadre du plan d'emploi mensuel du DAG de Pamiers et demandée par le PGHM de Savignac-les-Ormeaux. L'équipage de l'hélicoptère est constitué d'un pilote et d'un mécanicien de bord treuilliste (MBO). Après avoir décollé de sa base, l'appareil se dirige vers le stade municipal de Tarascon-sur-Ariège où il se pose en fin de matinée pour y récupérer les quatre secouristes du PGHM prévus pour la mission.

La zone de travail se situe dans le secteur des Aiguilles rouges de Bassiès. La mission consiste à identifier une voie d'escalade désaffectée, puis d'hélicitreuiller le personnel du PGHM qui doit procéder à sa vérification et à son rééquipement. L'équipage fait un briefing avec le personnel à hélicitreuiller. Les membres du PGHM sont régulièrement hélicitreuillés dans cette zone montagneuse.



Zone de travail

² VFR = *visual flight rules* – règles de vol à vue

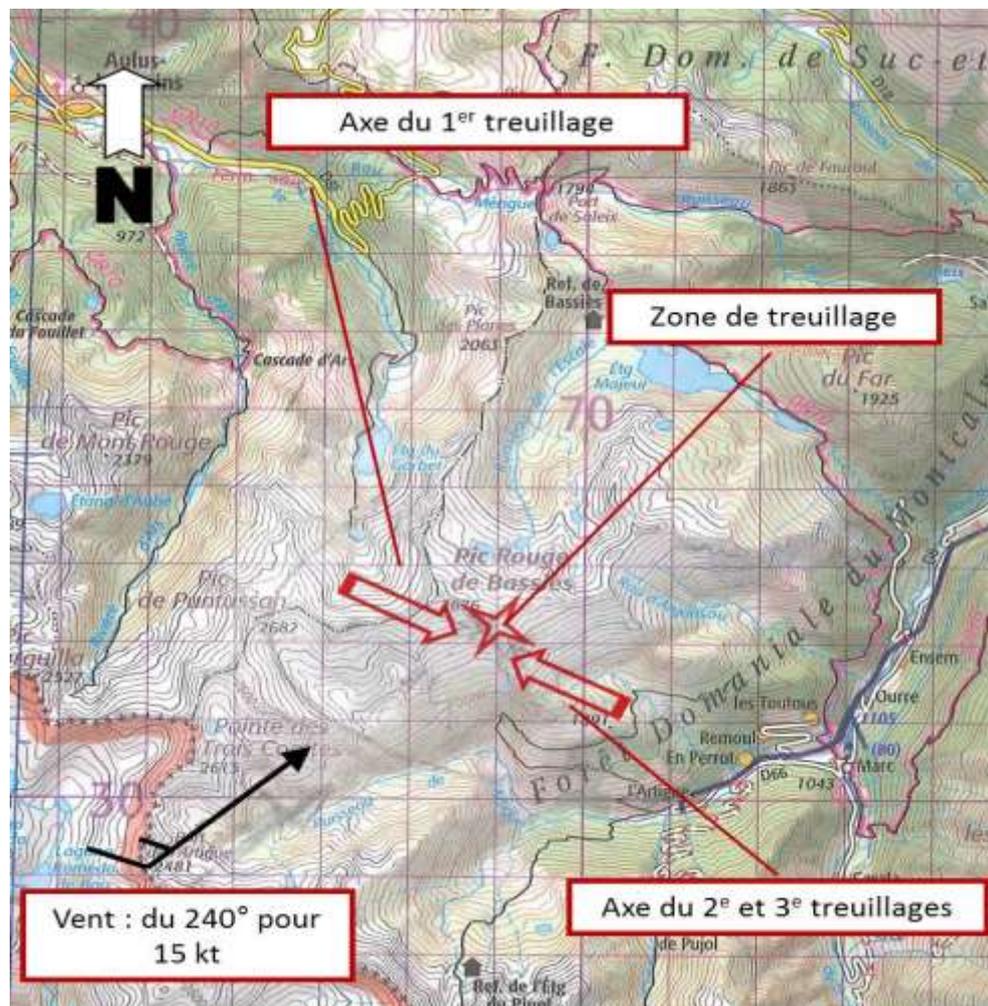
³ Peloton de gendarmerie de haute montagne, plongeurs, groupe cynophile ...

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

L'hélicoptère transite jusqu'au cirque du Pic Rouge de Bassiès. Arrivé sur place, le pilote effectue une reconnaissance aérologique de la zone afin de définir un axe préférentiel de treuillage et de vérifier la marge de puissance dont il dispose. Lors de cette reconnaissance, l'équipage identifie le point de treuillage qui se trouve à une altitude d'environ 8 200 ft.

Le pilote dépose initialement deux secouristes en contrebas sur un point dit « camp de base » puis se dirige vers la zone de travail. Le premier secouriste est hélitreuillé sur un axe qui s'avère peu « confortable ». Le pilote réalise alors le second treuillage sur un axe pratiquement opposé. Cette manœuvre est réalisée dans des conditions aérologiques plus favorables.

Le pilote retourne ensuite chercher les deux derniers secouristes pour les hélitreuiller sur le dernier axe choisi. Au cours de l'approche finale, le mécanicien de bord treuilliste commence le treuillage puis le pilote stabilise son stationnaire à la verticale du point de dépose, parallèlement à la paroi située à quelques mètres sur sa droite.



Axes de treuillage

Alors qu'une vingtaine de mètres de câble sont déroulés et que le treillage est en phase finale - aéronef en cours de stabilisation hors effet de sol (HES) et secouriste à une dizaine de mètres du sol - l'hélicoptère s'enfonce soudainement, sans signe précurseur.

N'arrivant pas à contrer cet enfoncement, le pilote « dégage » tout d'abord parallèlement à la paroi (vers l'avant) puis s'en écarte en virant à gauche vers le vide. Au cours de cette manœuvre, le secouriste heurte la paroi rocheuse et il est grièvement blessé.

Après avoir dégagé de la zone, l'équipage remonte le blessé et se dirige vers le centre hospitalier le plus proche où le blessé est pris en charge.

1.1.3. Localisation

- Lieu :
 - pays : France
 - département : Ariège
 - commune : Auzat
 - coordonnées géographiques : N 42° 43' 85 / E 001° 23' 79
 - altitude du lieu de l'événement : 8 200 ft
- Moment : jour
- Aérodrome le plus proche au moment de l'événement : Pamiers – Les Pujols

1.2. Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Secouristes PGHM	Passagers
Mortelles			
Graves		1	
Légères			
Aucune	2	1	

1.3. Dommages à l'aéronef

	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
Aéronef			X	

1.4. Autres dommages

Néant

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1. Commandant de bord

- Age : 42 ans
- Unité d'affectation : DAG de Pamiers
 - fonction dans l'unité : pilote
- Formation :
 - école de spécialisation : école de spécialisation de l'aviation légère de l'armée de terre (ESALAT) de Dax
 - année de sortie d'école : 1994
- 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)	3 600	1 600	70	70	0	0

- Date du dernier vol sur l'aéronef : 7 septembre 2014
- Contrôle annuel de compétences aéronautiques : date d'expiration le 26 novembre 2014

1.5.1.2. Mécanicien de bord treuilliste

- Age : 38 ans
- Unité d'affectation : DAG de Pamiers
 - fonction dans l'unité : mécanicien de bord treuilliste
- Formation :
 - qualification : mécanicien de bord treuilliste
 - année d'entrée en service : 2003
 - année de spécialisation : 2008
- heures de vol comme mécanicien de bord treuilliste

	Total		Depuis le début de l'année	
	sur tout type	dont EC 145	sur tout type	dont EC 145
Total (h)	1 400	500	143	143

- Nombre de treuillage :
 - sur l'aéronef : plus de 1 000
 - sur tout type : plus de 1 500
- Contrôle annuel de compétences aéronautiques : date d'expiration le 26 novembre 2014

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme d'appartenance : commandement des forces aériennes de la gendarmerie nationale (CFAGN)
- Aérodrome de stationnement : Pamiers – Les Pujols
- Unité d'affectation : DAG Pamiers
- Type d'aéronef : EC 145
 - configuration : secours en montagne (armement : treuil, plancher aluminium, banquette)
- caractéristiques :

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis la dernière VP ⁴
Cellule	FM-JBT	9173	2 363 h	563 h
GTM ⁵ 1	ARRIEL 1E2	18 831	2 363 h	/
GTM 2	ARRIEL 1E2	18 606	4 014 h	/

1.6.1. Maintenance

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

1.6.2. Performances

L'équipage n'a pas relevé de problème de fonctionnement.

1.6.3. Masse et centrage

La masse totale estimée au moment de l'événement est de 2 920 kg. Le centrage est dans les normes.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : JET A1
- Quantité de carburant au décollage : 520 l
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : 350 l

1.6.5. Autres fluides

Sans objet

⁴ VP = visite périodique

⁵ GTM = groupe turbomoteur

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions de Météo France (bulletin pour le lundi 13 octobre 2014)

« *Variable avec averse. Le ciel est changeant toute la journée avec tout de même de belles apparitions du soleil. À partir de l'après-midi, quelques averses éparses sont à prévoir, touchant dans un premier temps le Haut-Couserans, puis le reste des massifs. Le risque d'averse s'éloigne en fin de soirée tandis que le ciel s'éclaircit. Les températures se rafraîchissent, avec 9 degrés le matin à 1 500 m, et pas plus de 16 à 17 degrés l'après-midi. En vallée, il fait au mieux 20 à 21 degrés. Le vent est **faible à modéré** de sud-ouest* ».

1.7.2. Estimation météorologique de la cellule enquête aéronautique Sud-Ouest

- Situation générale le 13 octobre 2014 à 10h00 UTC (12h00 locale) : en surface, dépression au large de La Corogne. Flux de sud-ouest asséché sur le piémont ariégeois par effet de foehn. En altitude, flux de **sud-ouest**.
- Conditions au Pic Rouge de Bassiès (8 200 ft) :
 - Nuages (hauteur/sol) : 1/8 d'altocumulus à 13 000 ft - 5/8 de cirrus à 26 000 ft
 - Phénomène particulier : néant
 - Visibilité au sol : supérieure à 10 km
 - Vent du 240° pour 15 kt avec des rafales de 25 à 30 kt
 - Température : + 2 °C
 - Pression atmosphérique : 1 008 hPa

1.7.3. Observations de l'équipage

Les conditions sont conformes aux prévisions. Au moment de la mission, l'équipage constate qu'il n'y a pas de précipitations, que le ciel est sans nuage et que le vent est de secteur sud-ouest pour environ 15 kt. Les secouristes posés sur la paroi lors des deux premiers treuillages estiment pour leur part que le vent est quasiment nul.

1.8. Aides à la navigation

Une carte défilante électronique avec localisation par GPS⁶ dit système *EuroNav* est affichée en permanence en cockpit.

1.9. Télécommunications

L'aéronef dispose de plusieurs moyens de radiocommunication dont 2 postes VHF⁷ pour les échanges avec les organismes aéronautiques et les centres de haute montagne, ainsi que de systèmes propres à la gendarmerie (réseaux tactiques).

L'utilisation du moyen de communication par radio avec les secouristes est rendue difficile pendant la phase de treuillage en raison du bruit généré par l'aéronef. Une gestuelle

⁶ Global positioning system – système de positionnement global

⁷ Très haute fréquence (*very high frequency*) aéronautique de 117,975 à 137,000 MHz.

réglementaire est employée et permet au mécanicien de bord treuilliste de communiquer avec les secouristes.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

Sans objet.

1.11. Enregistreurs de bord

L'aéronef n'est pas équipé d'un enregistreur de voix et de paramètres (CVFDR). Il dispose toutefois d'un enregistreur de maintenance de type *usage and monitoring system – solidstate quick access memory* (UMS-SSQAR) qui enregistre les alarmes, les paramètres moteurs ainsi que les paramètres de vol les plus importants à une fréquence de 2 Hertz.

Les données sont stockées sur une carte mémoire amovible au format *personal computer memory card interface adaptator* (PCMCIA).

L'UMS enregistre une valeur de vitesse de l'aéronef quand elle est supérieure à 20 nœuds, sinon la vitesse enregistrée est égale à « 0 ».

Le système d'aide à la navigation *EuroNav* (voir § 1.8.) enregistre la position de l'appareil à une fréquence qui permet de reconstituer une trajectoire approximative de l'aéronef.

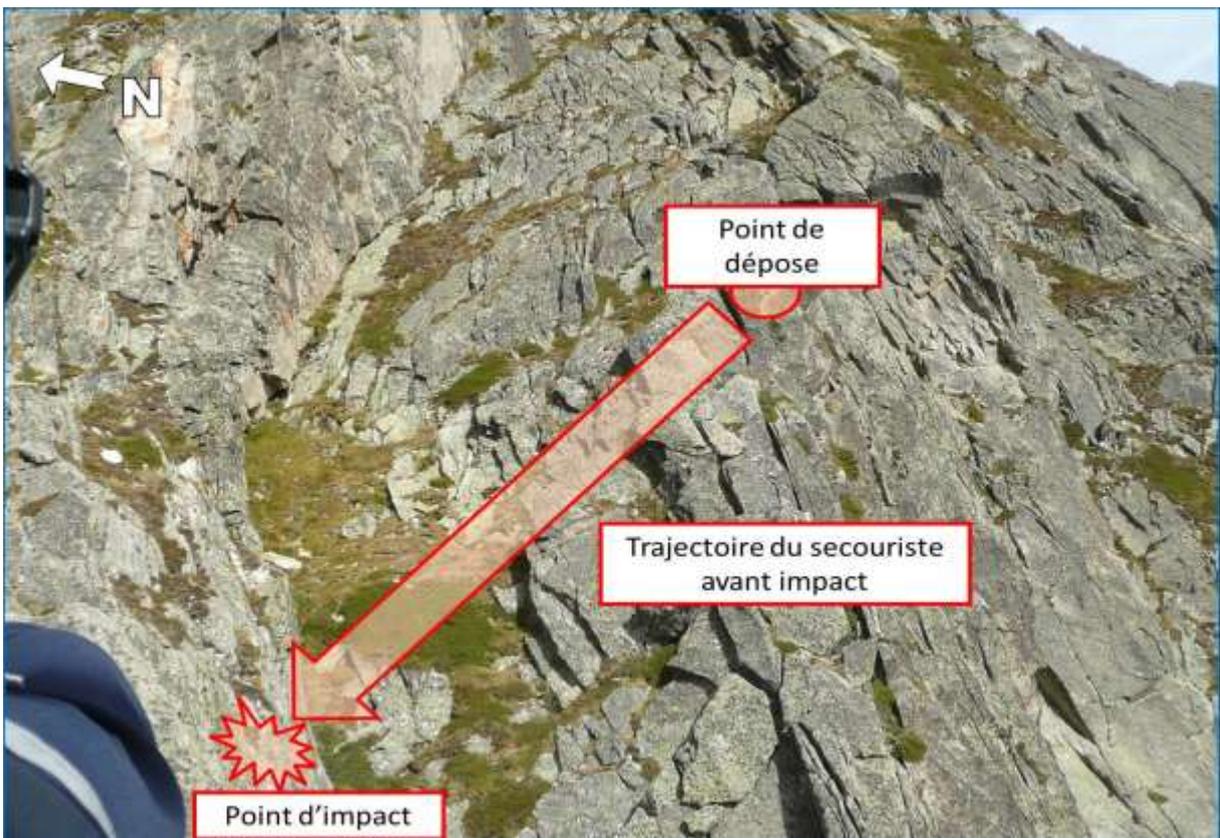
1.12. Renseignements sur la zone de l'événement et sur l'appareil

1.12.1. Zone de treuillage

La zone est localisée sur une paroi rocheuse sur le versant sud-ouest du pic, à flanc de pente.



Vue d'ensemble de la voie d'escalade



Vue détaillée

1.12.2. Examen de l'aéronef

Une dégradation est constatée au niveau du crochet.



Dégâts sur le crochet de treuil

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Pilote commandant de bord

- Dernier examen médical :
 - type : visite systématique en unité (référence : CEMPN du 24 octobre 2013)
 - résultat : apte sans restriction
 - validité : 6 mois
- Examens biologiques : non effectués
- Blessure : aucune

1.13.2. Mécanicien de bord treuilliste

- Dernier examen médical :
 - type : visite systématique en unité (référence : CEMPN du 4 juillet 2013)
 - résultat : apte sans restriction
 - validité : 6 mois
- Examens biologiques : non effectués
- Blessure : aucune

1.14. Incendie

Sans objet.

1.15. Organisation des secours

Le pilote a directement prévenu par radio le centre hospitalier de Foix et le blessé a été pris en charge une dizaine de minutes après l'accident.

1.16. Essais et recherches

Sans objet.

1.17. Renseignements sur les organismes

Initialement activé de façon occasionnelle sur le terrain de Pamiers – Les Pujols pour certaines périodes particulières (vacances scolaires et période estivale), le DAG de Pamiers est un détachement permanent depuis 2011.

Il met en œuvre un hélicoptère de type EC 145 et dépend de la section aérienne de gendarmerie de Toulouse.

1.18. Renseignements supplémentaires

L'aérologie en haute montagne est très spécifique et sa modélisation peu représentative. Dans tous les cas, l'aérologie joue un rôle important pour le vol de l'hélicoptère. Les phénomènes tels que les brises (de pente ou de vallée), la diminution de la densité de l'air (diminution de la puissance utilisable et du rendement du profil des pales), une météorologie qui peut changer brutalement, une aérologie turbulente voire tourbillonnaire (création de courants ascendants ou descendants violents) peuvent avoir modifié brusquement l'écoulement théorique des filets d'air dont une modélisation est proposée ci-dessous.



Représentation théorique de l'écoulement des filets d'air sur la zone

1.19. Techniques spécifiques d'enquête

Sans objet.

2. ANALYSE

L'événement est une perte momentanée de contrôle lors d'une phase d'hélicoptère. La mission est effectuée en haute montagne (altitude supérieure à 2 000 m) et le phénomène n'a pas été précédé de signes avant-coureurs (vibrations, alarmes, ...).

L'analyse qui suit se compose de trois parties. La première aborde la problématique du phénomène de vortex, la seconde reconstitue le scénario de l'événement et la troisième en identifie les causes possibles dans les domaines techniques, environnementaux et les facteurs humains et organisationnels.

2.1. L'état de vortex – *vortex ring state* (VRS)

Des essais en vol ont été réalisés suite à cet accident, au cours desquels un EC 145 a été mis plusieurs fois en état de Vortex (voir annexe 1). Lors de ces essais, des enregistrements de différents paramètres de ce type de phénomène ont pu être réalisés.

La comparaison des paramètres enregistrés pendant le vol d'étude du vortex avec ceux extraits lors de l'événement permettent de conclure que la perte de contrôle n'est pas due à une entrée en état de vortex.

2.2. Reconstitution du scénario de l'événement

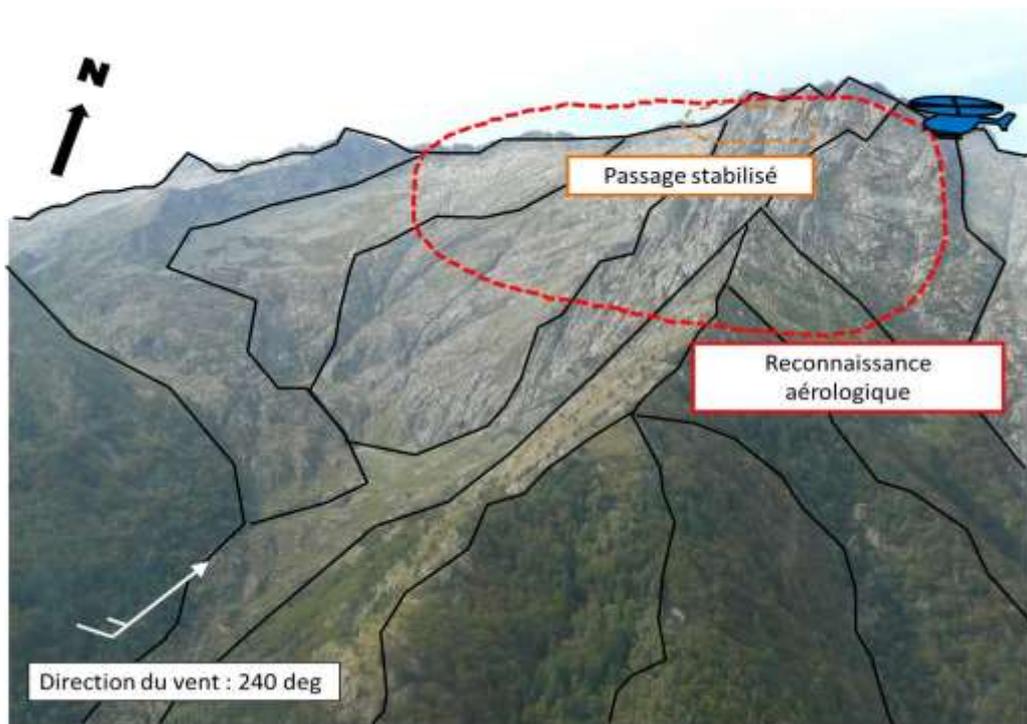
L'étude de la séquence d'événement permet de regrouper les manœuvres réalisées en trois phases successives :

- reconnaissance aérologique et dépose de deux secouristes sur le camp de base ;
- deux treuillages et retour au camp de base ;
- troisième treuillage (au cours duquel l'événement se produit).

2.2.1. Reconnaissance aérologique et dépose de deux secouristes sur le camp de base

L'objectif de cette reconnaissance est de s'approprier l'espace d'évolution, d'en définir les conditions aérologiques globales et de déterminer au plus près de l'aire de poser choisie les critères significatifs : vent, soleil, terrain, aérologie, zone de poser, obstacles

Les éléments relevés au cours de cette reconnaissance ne remettent pas en cause la mission prévue.



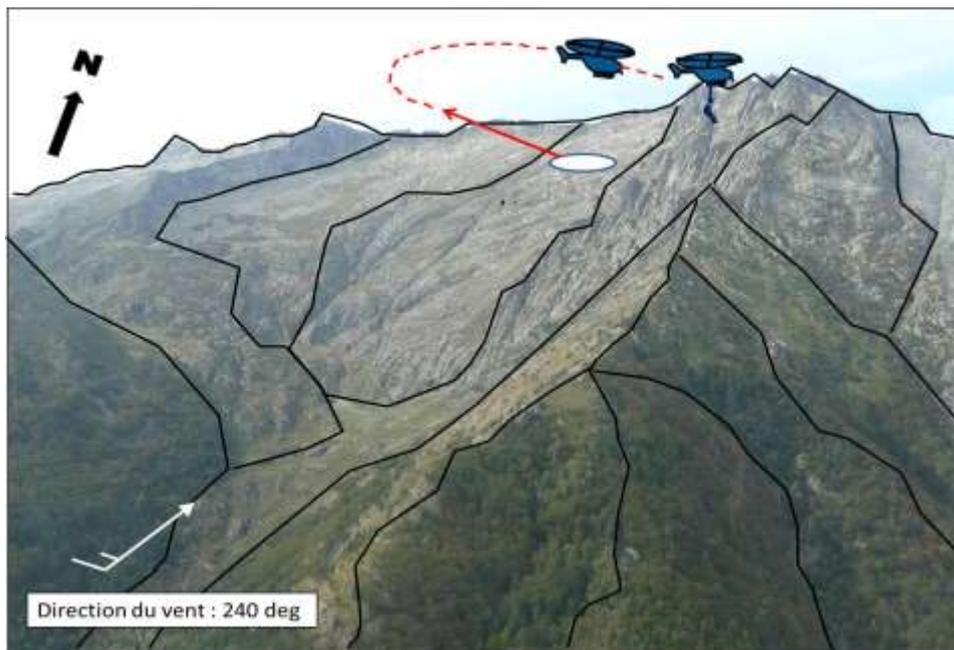
Reconnaissance aérologique et passage stabilisé (11h58 à 12h03)

Après avoir terminé cette première évolution, le pilote décide de déposer deux secouristes sur un camp de base en contrebas. Cette manœuvre n'est pas imposée par un besoin particulier (aérogologie turbulente, vent fort, cisaillement, conditions marginales...). C'est une précaution supplémentaire que prend le pilote pour augmenter la marge de puissance disponible afin de réaliser la manœuvre prévue (hélicoptère en stationnaire HES).



Dépose de deux secouristes (de 12h03 à 12h05)

2.2.2. Deux premiers treuillages et retour au camp de base



Premier treuillage (axe 1, de 12h06 à 12h08)

Le premier treuillage est effectué en « dynamique⁸ » au cap magnétique 105° avec une composante de vent légèrement arrière. Le pilote doit en effet maintenir une assiette à cabrer (entre $+7$ et $+10^\circ$ alors que l'assiette du stationnaire standard se situe à environ $+3^\circ$). Il estime la posture peu confortable compte tenu des mouvements en lacets de l'appareil et décide de prendre un axe opposé pour le treuillage du deuxième secouriste.



Deuxième treuillage (axe opposé = axe 2, de 12h09 à 12h11)

Les conditions d'approche sur le nouvel axe (cap magnétique 285°) sont beaucoup plus stables. Le secouriste treuillé reste à bord pendant l'approche. En arrivant en stationnaire HES

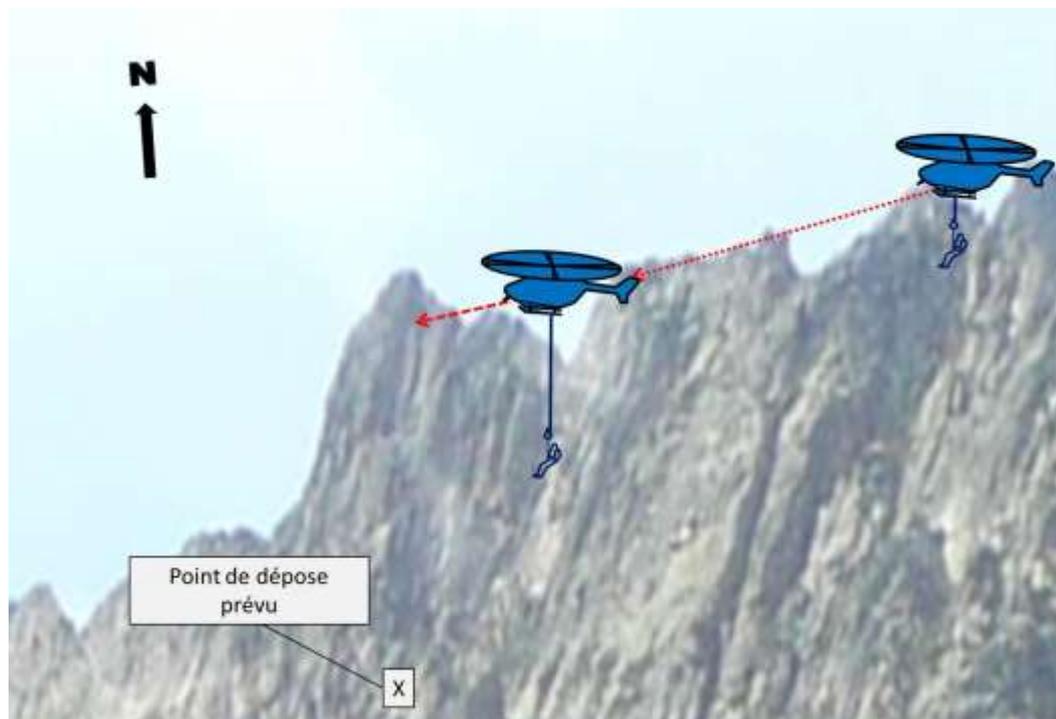
⁸ La descente du secouriste commence en finale d'approche, avant que l'aéronef ne soit stabilisé en stationnaire.

à l'aplomb du point de dépose, le pilote constate qu'il n'est plus soumis aux instabilités en lacet et décide de déposer le deuxième secouriste.

Le pilote rejoint ensuite le camp de base (de 12h12'50" à 12h14'00") pour embarquer les deux derniers secouristes. Cette manœuvre (approche, embarquement et décollage) se passe sans difficulté. Le pilote se dirige ensuite vers le dernier point d'approche qu'il a réalisé pour effectuer la dépose des deux derniers secouristes en dynamique.

2.2.3. Troisième treuillage

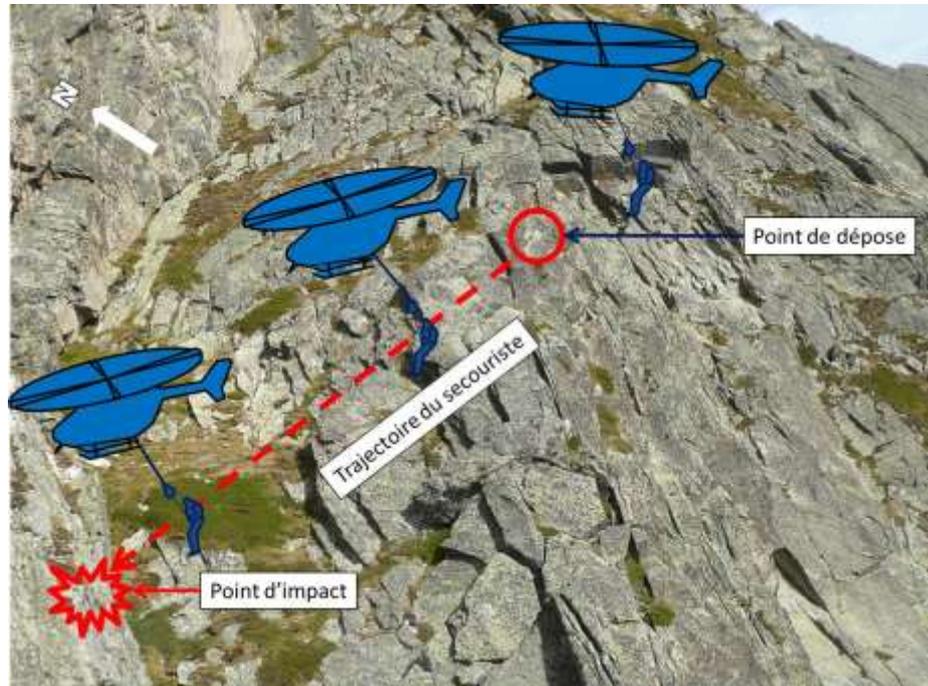
- Phase dynamique (de 12h15'00" à 12h15'15") : après avoir rejoint le point de présentation pour conduire l'approche sur l'axe 2, le pilote débute la phase dynamique de l'hélitreuillage. Cette manœuvre consiste à réduire progressivement la vitesse d'approche (40 kt) pour arriver en stationnaire HES (vitesse sol nulle) au-dessus du point de dépose, tout en ayant déjà commencé la descente du secouriste sous treuil. L'avantage est que l'aéronef reste moins longtemps en stationnaire HES, phase de vol qui nécessite une forte puissance (voir annexe 2 : courbe de puissance de l'hélicoptère).



Phase dynamique de treuillage

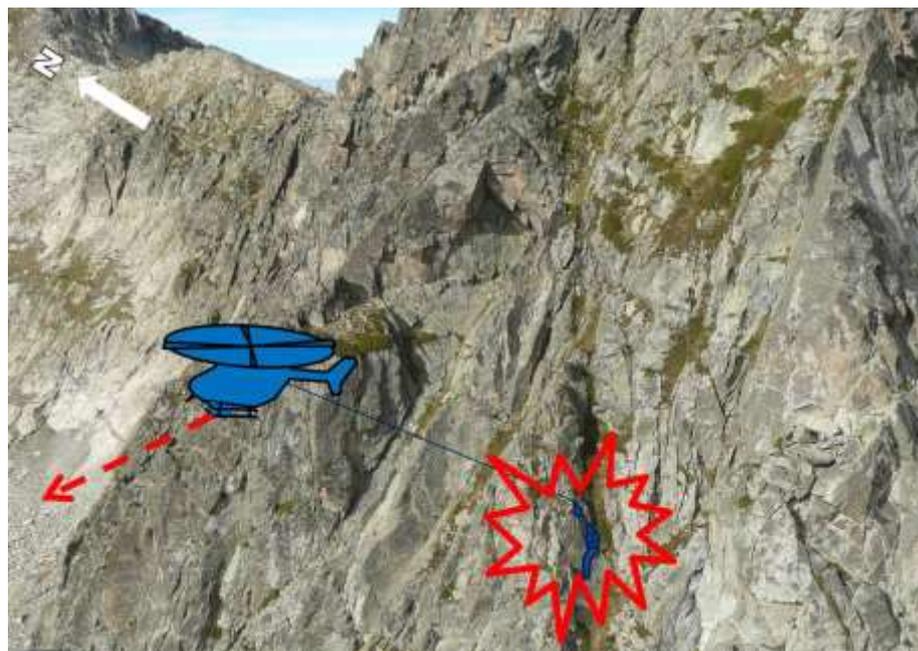
- Stabilisation en stationnaire HES (de 12h15'16" à 12h15'20") : arrivant progressivement en fin de phase de mise en puissance, le pilote tire progressivement le manche de pas cyclique (du neutre vers une position 20 à 25% de course arrière), tout en baissant progressivement le manche de pas collectif pour maintenir sa position. Arrivant à l'aplomb du point de dépose, le pilote perd le visuel du point de poser. Il l'annonce au mécanicien de bord treuilliste qui le guide alors à la voix.
- Perte de portance (12h15'31") et dégagement d'urgence (12h15'36") : alors qu'une vingtaine de mètres de câble sont déroulés et que l'opération de treuillage est en phase finale (aéronef en fin de stabilisation HES, secouriste encore à une dizaine de mètres du sol), l'hélicoptère s'enfonce soudainement, sans signe précurseur. L'enregistrement d'une vitesse verticale V_z de - 304 ft/min confirme cette perte d'altitude soudaine.

N'arrivant pas à contrer cet enfoncement par application de puissance, le pilote « dégage » tout d'abord parallèlement à la paroi (vers l'avant) puis s'en écarte en virant à gauche vers le vide (l'augmentation de la vitesse rapporte un gain de puissance – cf. courbe de puissance, annexe 2).



Dégagement de l'hélicoptère

Au cours de la manœuvre, le secouriste heurte la paroi rocheuse. Il est grièvement blessé. L'équipage remonte le blessé à bord de l'hélicoptère et se dirige vers le centre hospitalier le plus proche où le blessé est pris en charge.



Impact du secouriste sous treuil

2.3. Recherche des causes de l'événement

2.3.1. Causes techniques

Les enregistrements, les examens effectués sur l'aéronef et l'étude de la documentation technique montrent que l'appareil était pilotable pendant tout le vol. Il ne présentait aucune défaillance ou dysfonctionnement de ses systèmes, de ses commandes de vol ou de sa motorisation.

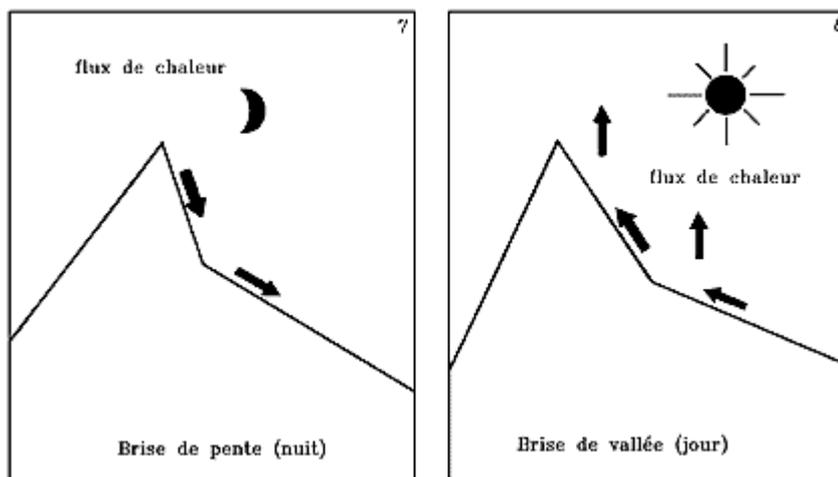
Aucune défaillance technique n'est à l'origine de l'événement.

2.3.2. Causes environnementales

2.3.2.1. Le vol de l'hélicoptère en montagne

L'aérologie en montagne⁹ présente plusieurs caractéristiques particulières qui peuvent influencer sur le comportement d'un hélicoptère.

- L'effet orographique est un effet purement mécanique qui se produit lorsqu'une masse d'air en pousse une autre le long d'une pente, l'obligeant à s'élever et à changer ses caractéristiques. Selon la nature de la masse d'air repoussée vers le haut, différents phénomènes météorologiques peuvent se développer au voisinage de la pente et favoriser des changements de température brusques et l'accélération des ascendances thermiques.
- Les brises de pente et de vallée : l'air étant moins dense en altitude, il contient moins de vapeur d'eau et de poussières, qui respectivement freinent et diffusent les rayonnements. Il en résulte que l'échauffement et le refroidissement des sols est plus intense et leur effet plus sensible. Ainsi, lorsque le soleil réchauffe le sol, l'air se réchauffe rapidement, s'allège et s'élève le long des pentes (phénomène contraire lors du refroidissement de la masse d'air).



Brises de pente et de vallée

⁹ *Le vol en montagne* de Jean Bizot (Editions Chiron) et fédération française de la montagne et de l'escalade (FFME).

- Les thermiques (ou « pompes ») sont des ascendances très localisées, créées par l'échauffement de l'air au contact de la surface du sol dont la température augmente sous l'action du soleil. Les pentes couvertes de rochers, les dalles inclinées et orientées au sud présentent les jours de grand soleil des courants thermiques importants.

Ces différents phénomènes peuvent créer un environnement perturbé où les mouvements d'air varient significativement en force et en direction, et ce dans des délais souvent très courts.

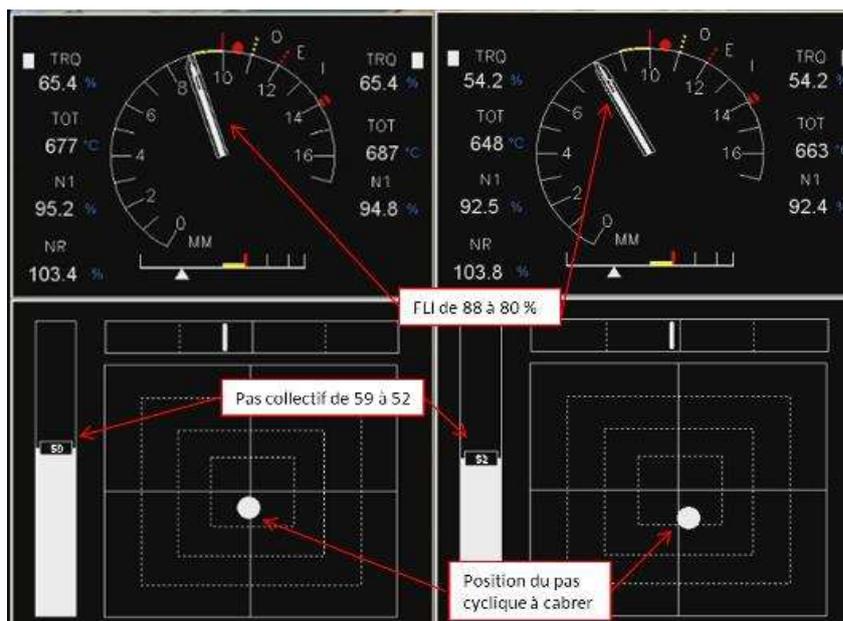
Comme l'altitude limite la performance du moteur, la marge de puissance disponible est « couramment » restreinte en montagne (voir annexe 2). L'altitude diminue également le rendement aérodynamique des rotors et par conséquent leur portance. Enfin, l'effet de sol est quasiment inexistant sur des pentes inclinées et ne permet pas d'envisager un gain de puissance.

Cumulés aux effets aérologiques décrits précédemment, le vol en montagne est de fait un vol « en limite de puissance », c'est-à-dire réalisé avec peu de réserve de puissance disponible en cas d'urgence.

2.3.2.2. Exploitation des paramètres enregistrés

L'EC 145 est équipé d'un *first limit indicator* (FLI)¹⁰, instrument qui fournit au pilote l'indication synthétique de la première limite atteinte pour les deux moteurs (couple, température et régime). Le pilote n'a qu'un seul instrument « moteur » à surveiller.

L'indication est donnée en pourcentage, la plage jaune va de 90 à 99,9 %, la limite rouge est à 100 % et plusieurs repères au-delà correspondent à des phases particulières (décollage, régimes continus et transitoires). Toutefois, toutes les valeurs sont affichées numériquement avec un code couleur qui permet de savoir quand un paramètre est normal (blanc), lorsqu'il devient limite (jaune) ou critique (rouge).



Reconstitution FLI et position des commandes

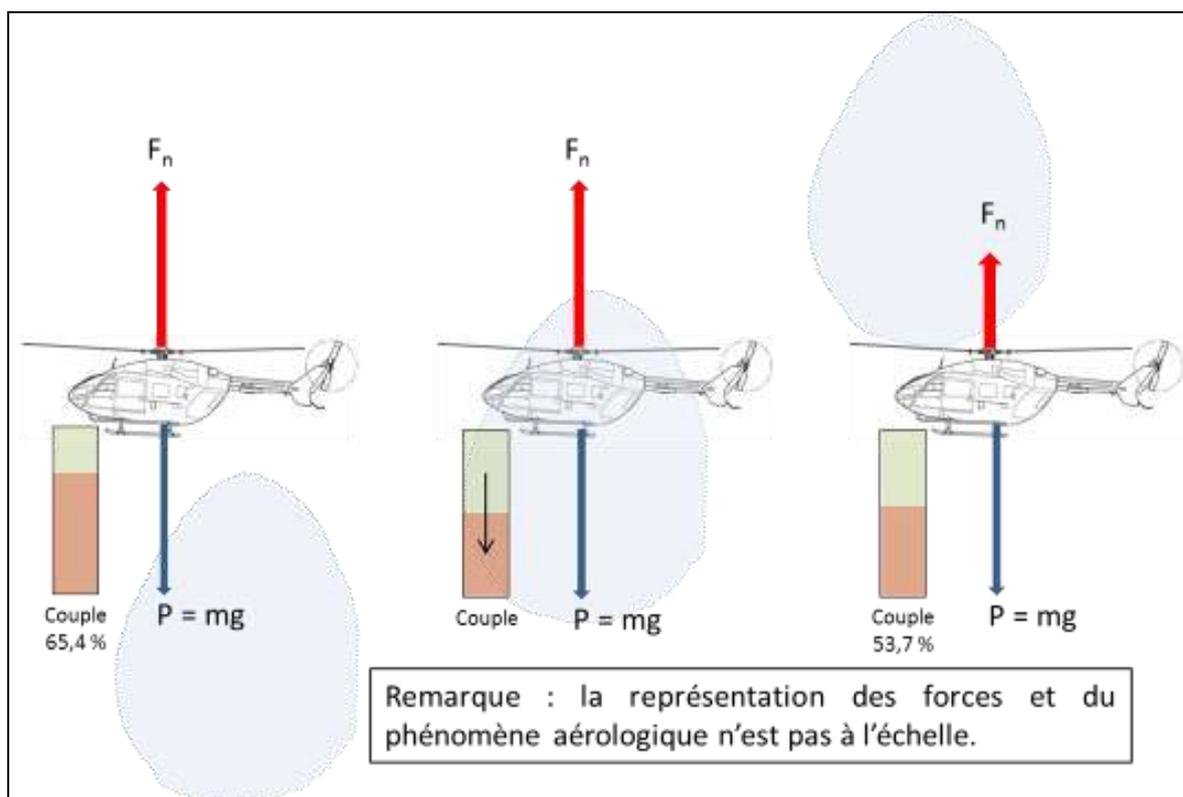
¹⁰ Dont les données sont enregistrées dans l'UMS-SSQAR.

Sur l'image précédente, l'écran de gauche correspond aux paramètres affichés en fin de stabilisation HES et l'écran de droite à ceux juste avant l'enfoncement de l'hélicoptère. L'analyse de ces données confirme le témoignage du pilote.

Pas cyclique : en fin de stabilisation, la position du pas cyclique est cohérente avec celle du stationnaire : légèrement à cabrer. Juste avant l'enfoncement, on constate que le pilote est obligé de déplacer le manche cyclique vers l'arrière droite pour tenir le stationnaire. Comme la vitesse de déplacement est quasi nulle à ce moment, il ne s'agit pas d'une augmentation d'assiette pour s'arrêter mais bien d'une manœuvre destinée à contrer un phénomène ascendant et venant de l'arrière droite.

Valeurs de FLI et pas collectif : l'indication du FLI passe de 88 % en fin de stabilisation à 80 % juste avant l'enfoncement. Dans le même temps, le pilote a baissé le pas collectif de 59 à 52 %.

Un phénomène aérologique très bref de type « ascendance thermique » a momentanément perturbé l'écoulement d'air au travers du rotor principal : pour rester stable, le pilote est contraint de cabrer l'hélicoptère et de baisser le pas collectif. L'hélicoptère a donc besoin de moins de puissance pour conserver le stationnaire. L'installation du phénomène est progressive et « masquée » par les actions aux commandes du pilote qui est dans la phase de réduction de vitesse de l'hélicoptère.



Effet du thermique sur l'équilibre du système de forces

Au moment où l'ascendance quitte le rotor par le haut, les forces ne s'équilibrent plus.

À l'inverse de l'apparition du phénomène qui est progressive, sa disparition est Brusque car le poids de l'hélicoptère est instantanément supérieur à la portance générée par le rotor avec les paramètres affichés.

Dès que le thermique est passé au travers du rotor principal, l'hélicoptère s'enfoncé brusquement.

2.3.3. Domaine relevant des facteurs humains et organisationnels

2.3.3.1. Nature du vol

Il s'agit d'un exercice de secours en haute montagne au profit d'un PGHM. Au cours de la mission, le personnel hélitreuillé réalisera la sécurisation d'une paroi rocheuse d'escalade avant sa réouverture au public.

Ce type de mission est fréquent. Il fait partie de l'activité régulière du détachement mais reste néanmoins d'une complexité et d'un niveau de difficulté élevés.

2.3.3.2. Composition de l'équipage

L'équipage de l'hélicoptère est composé de six personnes : un pilote et un mécanicien treuilliste du DAG de Pamiers et quatre secouristes du PGHM de Savignac-les-Ormeaux. Ils sont experts du vol en montagne et ont l'habitude de voler ensemble.

Les membres de l'équipage se connaissent et ont déjà réalisé plusieurs missions ensemble. Ce contexte est favorable à la synergie de l'équipage.

Le pilote est affecté depuis deux ans dans cette unité et a effectué 1 600 heures de vol sur ce type d'appareil. Il pratique l'hélitreuillage en montagne depuis 8 ans. Il a déjà connu en 2007 un événement ayant abouti à la coupure du câble en vol par le mécanicien treuilliste au moment de la remontée des personnels treuillés.

Il a pris l'alerte la veille (dimanche 12 octobre 2014 au matin) après avoir passé quatre semaines en stage pendant lesquelles il n'a pas effectué de vol. Aucune intervention n'a eu lieu le dimanche. Il est arrivé sur la base à 9 heures du matin le jour de l'événement.

La reprise des vols après un arrêt prolongé de quatre semaines a très probablement contribué à placer le pilote dans un contexte inconfortable et favorable à d'éventuelles prises de décisions non optimales.

Le mécanicien treuilliste est affecté dans cette unité depuis septembre 2011 et possède une expérience de 1400 heures de vol. Il n'a pas connu d'événement au cours de sa carrière.

Quant aux quatre secouristes militaires, ils sont régulièrement hélitreuillés dans cette zone montagneuse qu'ils connaissent parfaitement.

2.3.3.3. Préparation du vol

Ce type de mission, programmé avec les secouristes du PGHM, est réalisé en moyenne deux fois par mois. L'objectif initial de la mission de ce jour était de déposer les quatre secouristes au sommet de la voie d'escalade le matin et de les récupérer en début d'après-midi.

À la mise en route de l'hélicoptère, la check-list est minutieusement déroulée par l'équipage du fait que le pilote n'a pas volé depuis 4 semaines. En revanche, lors de la récupération des secouristes sur le stade municipal de Tarascon-sur-Ariège, le briefing fait par le pilote commandant de bord est rapide et plus succinct.

S'agissant d'un exercice au profit d'une unité opérationnelle (PGHM) et non d'une mission opérationnelle en situation réelle d'intervention, aucune contrainte¹¹ ne peut justifier l'absence d'un briefing complet de sécurité en présence de tous les participants à la mission.

Lors d'un exercice au profit d'une unité opérationnelle, un briefing complet aurait dû être fait au profit de tous les participants de la mission.

2.3.3.4. Déroulement du vol

- Technique de treuillage

Les contraintes dues à l'altitude et à l'aérologie spécifique de la haute montagne imposent aux équipages d'hélicoptère qui y évoluent de travailler en limite de puissance. Dans ces conditions, la réserve de puissance est minimale, en particulier lors des phases d'évolution à basse vitesse. Avec la proximité des obstacles (approche, décollage, travail en stationnaire), le risque est maximum et dans ces configurations, l'objectif est de réduire le temps d'exposition au danger (équipage et personnel treuillé).

La technique de treuillage dynamique employée par l'équipage lors de l'événement permet de réduire la durée du stationnaire HES, phase où de surcroît, le souffle vertical de l'hélicoptère peut faire entrer la charge en oscillation. Toutefois, cette technique augmente la durée d'exposition du personnel treuillé aux obstacles environnants, notamment en cas de remise des gaz.

En règle générale, le treuillage en montagne est une manœuvre complexe qui nécessite que l'équipage (pilote et mécanicien de bord treuilliste) soit expérimenté et régulièrement entraîné. Cet entraînement peut être réalisé dans un premier temps avec une charge inerte sur des sites dont la difficulté va croissante. L'absence de repères fait d'une paroi un site dont la difficulté est extrême.

- Manœuvre en cours d'hélitreuillage

Après avoir effectué une reconnaissance aérologique de la zone pour définir un axe préférentiel de treuillage et vérifier la marge de puissance disponible, le pilote décide de déposer deux des quatre secouristes sur un « camp de base » afin d'alléger l'appareil.

¹¹ La mission a été retardée dans la matinée en raison d'une réunion des mécaniciens.

La décision d'alléger l'appareil paraît optimale pour faciliter la manœuvre de treuillage sur paroi.

Le pilote se dirige vers la zone de travail pour y déposer les deux autres secouristes. Lors du premier hélitreuillage, l'axe choisi s'avère être peu confortable (vibrations, turbulences, approche désagréable), ce qui incite le pilote à réaliser le second treuillage sur l'axe opposé.

La décision de changer l'axe de treuillage permet au pilote de travailler dans des conditions aérologiques plus confortables et dans de meilleures conditions de sécurité.

Après la réussite dans de bonnes conditions du deuxième treuillage, le pilote va récupérer les deux autres secouristes sur le camp de base et décide de reproduire le troisième treuillage dans les mêmes conditions que le deuxième.

Au cours de la phase finale du treuillage (aéronef en cours de stabilisation HES et secouriste à une dizaine de mètres du sol), sans signe précurseur, l'hélicoptère s'enfonce soudainement. Le pilote ne réussit pas à contrer cet enfoncement au pas général et dégage dans un premier temps parallèlement à la paroi vers l'avant puis s'écarte de la paroi en virant à gauche vers le vide. Le secouriste heurte la paroi rocheuse à deux reprises et se blesse grièvement.

- Décision de dégagement rapide

Selon son témoignage, le pilote ressent « un enfoncement avec puissance ». D'après lui, le seul moyen de sortir de cette situation de danger est de récupérer de la vitesse par un dégagement vers l'avant. Cette décision semble cohérente avec la conscience qu'il a de la situation.

Cependant, sa conscience de la situation est erronée : l'enfoncement ressenti est successif à une action antérieure de la part du pilote. En effet, la puissance a été diminuée préalablement d'environ 10% pour contrer l'effet ascendant du thermique.

La décision de dégager vers l'avant a contribué au heurt de la paroi par le secouriste.

PAS DE TEXTE

3. CONCLUSION

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

Un exercice d'hélicoptère sur paroi en haute montagne est réalisé au profit de quatre secouristes d'un PGHM.

Le pilote fait une reconnaissance aérologique de la zone puis dépose deux secouristes sur un camp de base en contrebas pour alléger l'hélicoptère avant de commencer les treuillages.

Le premier treuillage est réalisé conformément à l'axe prédéterminé lors de la reconnaissance aérodynamique.

En redécollant, le pilote estime que la manœuvre n'était pas « confortable » (assiette à cabrer et quelques instabilités en lacet) du fait vraisemblablement d'une composante de vent arrière sur cet axe.

La deuxième approche est effectuée sur un axe à 180° du premier sans descente du secouriste sous treuil¹² : elle est plus stable et l'hélicoptère subit moins de turbulences. Stabilisé en stationnaire HES, un treuillage statique du secouriste est effectué puis le pilote retourne au camp de base pour embarquer les deux derniers secouristes.

Pour déposer le troisième secouriste, le pilote effectue l'approche sur le dernier axe utilisé et le mécanicien de bord treuilliste débute un treuillage dynamique. Lorsque le pilote perd le visuel du point de poser, le mécanicien de bord treuilliste prend le guidage final de l'hélicoptère à son compte. Le câble est déroulé sur une vingtaine de mètres.

Pour conserver un stationnaire HES stable, le pilote met du manche à cabrer et baisse le pas général. L'indication du FLI passe de 88 à 80 % et le couple des moteurs diminue d'environ 10 % (de 65,4 à 53,7 % sur les deux moteurs).

Alors que le secouriste se trouve encore à une dizaine de mètres du sol, l'hélicoptère s'enfonce brutalement.

N'arrivant pas à contrer la perte d'altitude au pas général, le pilote dégage vers l'avant. Au cours de la manœuvre, le secouriste accroché au treuil heurte deux fois la paroi rocheuse.

3.2. Causes de l'événement

La perte de contrôle de l'hélicoptère est due à une cause environnementale dont l'origine est un phénomène aérologique localisé de type « thermique ».

Elle est favorisée par les conditions particulières d'exécution de la mission : évolution en limite de puissance en haute montagne, aérologie changeante de façon inopinée et soudaine, phénomène brusque sans signe avant-coureur de type vibrations, alarmes...

¹² Afin de pouvoir remettre les gaz instantanément en cas de problème.

Le déroulement des deux premiers treillages, le premier « inconfortable » et le deuxième « satisfaisant », a contribué à conforter le pilote dans son choix de conduire le troisième treillage sur un axe qu'il estimait « serein ».

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

Cet incident aérien grave illustre une fois de plus l'extrême difficulté du vol de l'hélicoptère en zone de haute montagne. Aux altitudes élevées, la marge de puissance est extrêmement faible, surtout lors des évolutions à basse vitesse alors que l'hélicoptère est encore plus sensible aux aléas météorologiques.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à :

la gendarmerie nationale, l'armée de terre, l'armée de l'air, la marine nationale, la DGSCGC et la DGDDI, d'assurer la plus large diffusion de ce rapport auprès de leurs unités afin qu'elles soient informées de la survenue de ce type d'événement.

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

4.2.1. Enregistreur des données de vol et des conversations du cockpit

Les éléments qui ont pu être extraits de l'enregistreur de maintenance qui équipe l'EC 145 s'avèrent insuffisants pour réaliser une analyse précise des paramètres du vol (imprécision de la trajectographie, de la vitesse, cadence d'enregistrement non adaptée ...). Les échanges de conversation au sein de l'équipage ne sont pas disponibles et les données ne sont pas protégées en cas de crash ou d'incendie (dispositif non durci).

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à :

la gendarmerie nationale, d'équiper la flotte d'hélicoptères EC 145 d'enregistreurs d'accident de type CVFDR.

4.2.2. Sensibilisation au VORTEX

Dans certaines conditions de vol, les pales d'un rotor principal peuvent tourner dans leur propres remous : c'est le cas lorsque les flux d'air montants et descendants sont de même intensité. L'air forme alors un anneau tourbillonnaire isolant le rotor qui n'est plus traversé par le flux d'air. Ce phénomène est appelé « état de Vortex ».

Différents essais en vol ont été faits et il apparaît que certains éléments favorisent l'apparition du phénomène : variomètre négatif, vent arrière, forte masse. Ce type de phénomène a toutefois déjà été vécu par certains alors qu'ils ne se trouvaient pas dans ces configurations.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à :

la gendarmerie nationale, l'armée de terre, l'armée de l'air, la marine nationale, la DGSCGC et la DGDDI, d'actualiser la sensibilisation de leurs pilotes au risque particulier du vortex.

ANNEXES

ANNEXE 1 Le VORTEX – VRS ou état d'anneaux tourbillonnaires.....	34
ANNEXE 2 La courbe de puissance d'un hélicoptère	37

ANNEXE 1

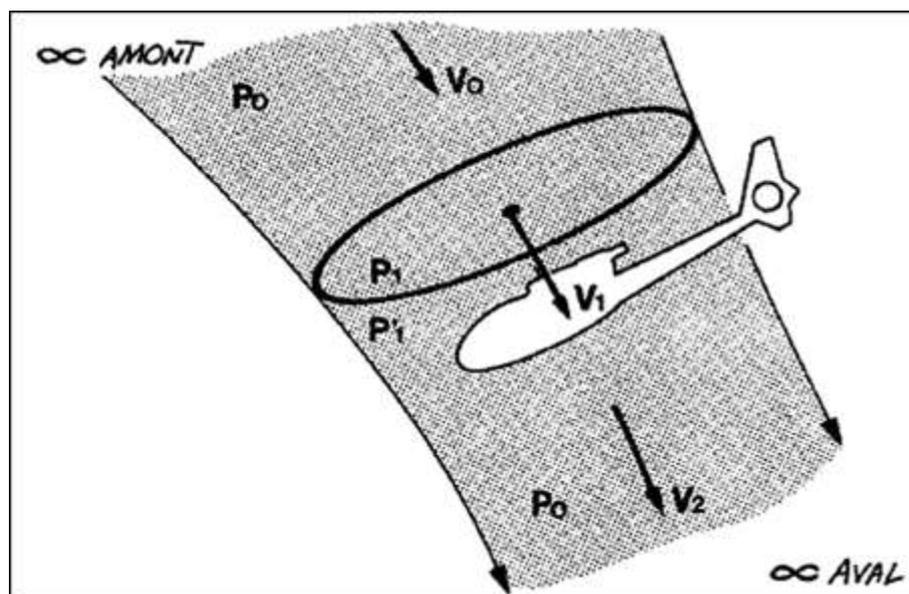
Le VORTEX –VRS ou état d'anneaux tourbillonnaires

(Source : Cours de mécanique du vol de l'hélicoptère – ESALAT de DAX, Edition 1996)

1/ Écoulement de l'air au travers d'un rotor d'hélicoptère

En tournant, le rotor aspire l'air à sa partie supérieure (infini amont) et le refoule vers le bas (infini aval). Il accélère donc la masse d'air soumise à son influence. La pression et la vitesse de l'air varient tout au long de la veine d'air en mouvement :

- à l'infini amont : la pression de la veine d'air est P_0 (pression atmosphérique). La vitesse relative de l'air est V_0 et est égale et opposée à la vitesse de déplacement de l'hélicoptère ;
- au niveau du rotor, la vitesse de l'air a augmenté (V_1). Sur la face supérieure du disque rotor, la pression est P_1 ($P_1 < P_0$) : zone de dépression. Sous la face inférieure, la pression est P'_1 ($P'_1 > P_0$) : zone de pression ;
- à l'infini aval : la vitesse de l'air a encore augmenté (V_2). La pression de l'air est P_0 (pression atmosphérique).



Écoulement de l'air au travers du rotor

2/ Vitesse de Froude

L'augmentation de la vitesse des filets d'air (de V_0 à V_2) se fait régulièrement entre l'infini amont et l'infini aval. Elle est donc égale de part et d'autre du disque rotor. On appelle vitesse de Froude V_F (ou vitesse induite, car c'est le rotor qui la provoque) cette augmentation de vitesse. Donc, entre l'infini amont et le rotor, la vitesse induite croît progressivement. Au niveau du disque rotor, sa valeur est V_F . Entre le rotor et l'infini aval, la vitesse induite croît de la même manière. À l'infini aval, sa valeur est de $2 V_F$.

3/ Cas de vol

En vol stationnaire, l'hélicoptère est immobile par rapport à l'air ($V_0 = 0$). Dans le plan du rotor, l'air s'écoule à la vitesse induite ($V_1 = V_F$).

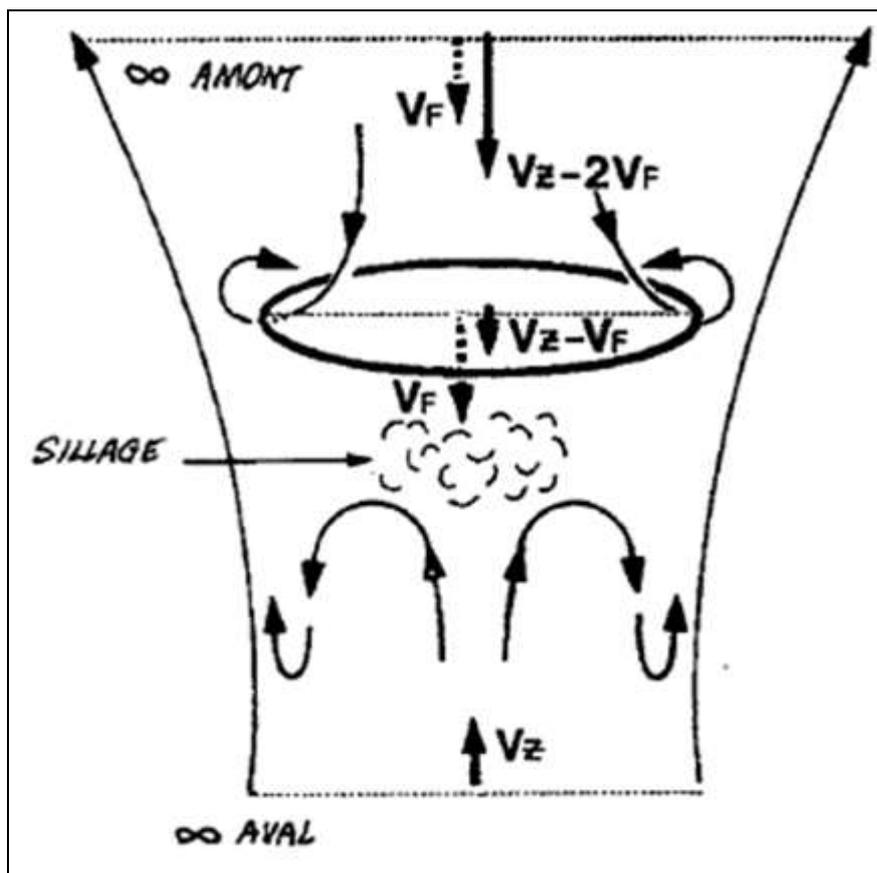
Quand l'hélicoptère s'élève verticalement (vitesse ascensionnelle V_Z), la vitesse V_0 des filets d'air à l'infini amont est égale et opposée à la vitesse ascensionnelle ($V_0 = V_Z$). V_Z et V_F sont de même sens et la vitesse ascensionnelle s'ajoute à la vitesse induite.

Quand l'hélicoptère descend rapidement (ou modérément), le flux d'air est inversé et traverse le rotor de bas en haut. À l'infini aval, la vitesse V_Z des filets d'air est égale et opposée à la vitesse de descente de l'hélicoptère. La vitesse induite du rotor, dirigée de haut en bas, s'oppose à la descente. Dans ce régime d'écoulement, ce sont les filets d'air, qui, fournissant de la puissance au rotor, l'entraînent comme un moulinet.

3/ État de vortex (cas de la descente lente ou $V_Z < V_F$)

Alors que descentes rapide et modérée sont des régimes non motorisés (la puissance est fournie par le flux d'air et une roue libre intercalée dans la transmission permet au rotor de tourner librement), la descente lente est un régime motorisé, le pilote provoquant et contrôlant la descente de l'hélicoptère par réduction du pas collectif.

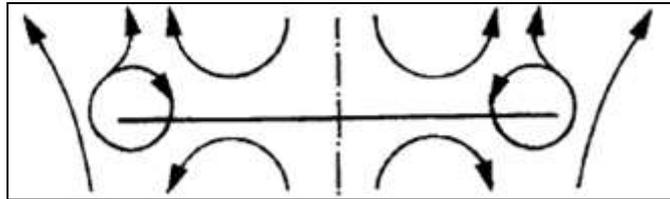
Comme la vitesse verticale des filets d'air à l'infini aval (V_Z) est inférieure à la vitesse induite (V_F), l'inversion de vitesse du flux d'air se produit sous le rotor. Un sillage apparaît sous le rotor et les filets d'air sont rabattus vers le bas. Les filets d'air supérieurs créent une zone tourbillonnaire vers l'extrémité des pales.



Sillage dans le flux d'air

Pour une vitesse de descente de l'ordre de 2 m/s, les flux d'air montant et descendant se rencontrent sur le disque rotor.

Les pales tournent dans leur propre remous et l'air forme un anneau tourbillonnaire isolant le rotor qui n'est plus traversé par le flux d'air. Ce phénomène est appelé « état de Vortex ». Cette configuration est dangereuse car le rotor, en zone de décrochage, n'est plus contrôlable.



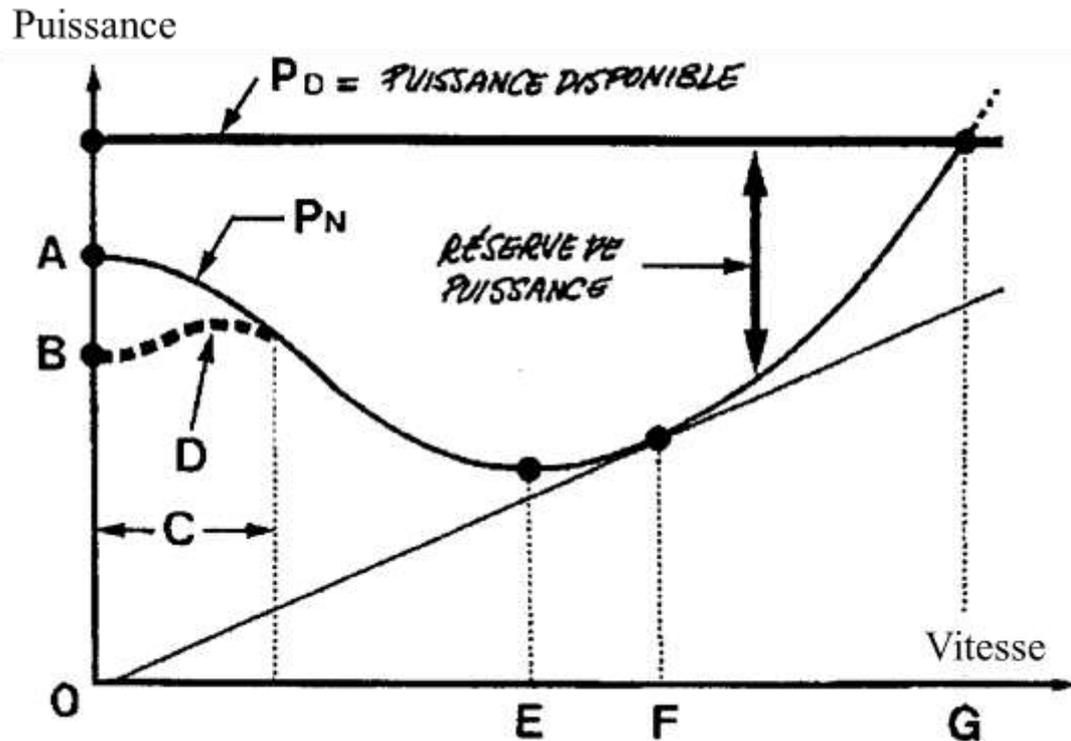
Anneau tourbillonnaire

Les évolutions à faible taux de descente – vitesse verticale de l'ordre de la moitié du souffle rotor – et faible vitesse d'avancement créent des conditions qui favorisent l'entrée en état de Vortex. Le vent secteur arrière est également un facteur aggravant dès lors qu'il réduit la vitesse d'avancement (cas d'une approche en vent arrière).

ANNEXE 2

La courbe de puissance d'un hélicoptère

(Source : cours de mécanique du vol de l'hélicoptère – EAALAT/BE DAX Edition 1996)



Points remarquables de la courbe de puissance

En **A**, l'hélicoptère est en vol stationnaire HES (hors effet de sol) et en **B**, il est en vol stationnaire DES (dans l'effet de sol). Il faut moins de puissance pour tenir le stationnaire DES.

C est appelée « zone de transition » : la vitesse augmente et l'effet de sol se fait de moins en moins sentir. Si l'on veut conserver une altitude constante lors d'un décollage DES, il faut augmenter la puissance (courbe pointillée **D**).

E est la **VITESSE DE PUISSANCE MINIMALE**, celle pour laquelle la puissance nécessaire est la plus faible. Inversement, c'est la vitesse pour laquelle la marge de puissance est maximale.

F est la **VITESSE DE FINESSE MAXIMALE**. Elle est déterminée par la tangente de la courbe, issue de l'origine (**O**). Le Rapport P/V est le plus petit possible ; cela signifie qu'en ce point, on obtient la plus grande vitesse possible avec la plus faible puissance possible.

G est la **VITESSE MAXIMALE**. Elle est déterminée par l'intersection entre la courbe de puissance et la puissance maximale disponible. À cette vitesse, la réserve de puissance est nulle.