

# BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 13 août 2007

## RAPPORT PUBLIC D'ENQUÊTE TECHNIQUE



# BEAD-air-S-2006-013-A

<b>Date de l'événement</b>	<b>le 05 juin 2006</b>
<b>Lieu</b>	<b>Massif de l'Astazou (Hautes-Pyrénées)</b>
<b>Type d'appareil</b>	<b>Hélicoptère BK117 C2</b>
<b>Immatriculation</b>	<b>F-ZBPB, n°9007</b>
<b>Organisme</b>	<b>Direction de la défense et de la sécurité civiles</b>
<b>Unité</b>	<b>Base Hélicoptères de Pau</b>

## **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 certaines ou possibles. Enfin, dans le dernier chapitre, des propositions en matière de prévention sont présentées.

### **UTILISATION DU RAPPORT**

L'objectif du rapport d'enquête technique est d'identifier les causes de l'événement et de formuler des recommandations de sécurité. En conséquence, l'utilisation exclusive de la deuxième partie de ce rapport et des suivantes à d'autres fins que celle de la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

## TABLE DES MATIÈRES

<i>Avertissement</i>	2
<b>TABLE DES MATIÈRES</b>	<b>3</b>
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS</b>	<b>7</b>
<b>GLOSSAIRE</b>	<b>8</b>
<i>Synopsis</i>	<b>11</b>
<b>1 Renseignements de base</b>	<b>14</b>
1.1 Déroulement du vol	14
1.1.1 Mission	14
1.1.2 Contexte de la mission	14
1.1.3 Description des vols précédents réalisés le 5 juin 2006	15
1.1.3.1 Mise en place de l'hélicoptère à Gavarnie	15
1.1.3.2 Dépose des cinq CRS en altitude, sur le lieu de l'exercice	15
1.1.4 Description de l'exercice sur la paroi	16
1.1.5 Description du vol durant lequel se produit l'accident	16
1.1.6 Localisation	17
1.2 Tués et blessés	18
1.3 Dommages à l'aéronef	18
1.4 Autres dommages	18
1.5 Renseignements sur le personnel	18
1.5.1 Pilote	18
1.5.2 Mécanicien opérateur de bord (MOB)	19
1.5.3 CRS secouristes	20
1.5.3.1 CRS à bord	20
1.5.3.2 CRS en cours de treuillage	20
1.6 Renseignements sur l'aéronef	20
1.6.1 Caractéristiques générales du BK117 C2	20
1.6.2 Données sur l'appareil accidenté	21
1.6.2.1 Maintenance	21
1.6.2.2 Carburant	22
1.6.2.3 Masse et centrage	22
1.6.2.4 Treuil	22
1.6.2.5 Balises de détresse	23
1.7 Conditions météorologiques	23
1.7.1 Situation générale	23
1.7.2 Conditions météorologiques dans la zone de l'accident	24
1.7.2.1 Estimation par Météo France	24
1.7.2.2 Constatations des CRS présents sur l'arête	24
1.8 Aides à la navigation	24
1.9 Télécommunications	24
1.9.1 Communication entre le pilote et le contrôle aérien	24
1.9.2 Communication entre le pilote et le MOB	25
1.9.3 Communication entre l'équipage et les CRS	25
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	25
1.10.1 Aérodrome de Pau	25
1.10.2 Aire de posé du poste de secours de Gavarnie	26
1.11 Enregistreurs de bord	26
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	26
1.12.1 Répartition des débris	26
1.12.1.1 Zone A	28
1.12.1.2 Zone B : surplomb situé vers 2560 m	31
1.12.1.3 Zone C : pierrier situé entre 2350 et 2450 m	32

1.12.2 Traces d'impact sur le relief	35
1.12.3 Opérations de récupération de l'épave	35
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	35
1.13.1 Membres d'équipage de conduite	35
1.13.1.1 Pilote	35
1.13.1.2 Mécanicien opérateur de bord	36
1.13.2 CRS secouristes	36
1.13.2.1 CRS à bord au moment de l'évènement	36
1.13.2.2 CRS en cours d'hélicoptère au moment de l'évènement	36
1.14 Incendie	36
1.15 Survie des occupants	36
1.15.1 Organisation des secours	36
1.15.2 Positionnement du rescapé et des victimes : constats effectués par les premiers secours	37
1.16 Essais et recherches	37
1.16.1 Recherche de la position du sac récupéré lors du stationnaire : test de lancer d'un sac	37
1.16.2 Expertises réalisées au CEPr	39
1.16.3 Expertises réalisées au Centre d'essais aéronautiques de Toulouse (CEAT)	40
1.16.4 Expertises des régulateurs GTM et des boîtiers tachymétriques	40
1.16.5 Expertises des servocommandes	40
1.16.6 Expertises de calculateurs embarqués, réalisées par le BEA	41
1.16.6.1 Ensemble VEMD/CAD	41
1.16.6.2 Calculateurs APM du pilote automatique	42
1.16.6.3 Modules FCDM	42
1.16.7 Expertise des calculateurs NMS, réalisée par la société CMC Electronics (Canada)	42
1.16.8 Etude visant à évaluer la marge théorique de contrôle en lacet lors du dernier stationnaire	43
1.17 Renseignements sur les organismes	43
1.17.1 Renseignements relatifs au groupement d'hélicoptères (GH)	43
1.17.1.1 Positionnement du GH	43
1.17.1.2 Hélicoptères en service	43
1.17.1.3 Pool renfort montagne	44
1.17.1.4 Limitations d'emploi du BK117 C2 au sein du GH, relatives à la masse maximale au décollage	44
1.18 Renseignements supplémentaires	45
1.18.1 Evènements survenus sur BK117 C2 dans la DDSC	45
1.18.2 Campagnes d'essais de manoeuvrabilité à haute altitude	45
1.18.3 Anomalies concernant la chaîne de lacet du BK117 C2 : cas rencontrés dans la DDSC, mesures prises ou en cours	45
1.19 Techniques spécifiques d'enquête	45
<b>2 Analyse</b>	<b>46</b>
2.1 Préambule	46
2.2 Témoignages	47
2.2.1 Positionnement des témoins	47
2.2.2 Témoignage du chef de poste relatif au dernier stationnaire	47
2.2.3 Témoignage de la randonneuse	49
2.2.4 Conclusion sur les témoignages	49
2.3 Analyse des témoignages et des constats faits dans la partie supérieure du site de l'accident	50
2.3.1 Analyse de la répartition des débris et des traces d'impacts	50
2.3.2 Estimation du positionnement de l'appareil lors du dernier stationnaire	53
2.3.2.1 Estimation du positionnement du sac récupéré lors du dernier stationnaire	55
2.3.2.2 Estimation de la zone dans laquelle est réalisé le dernier stationnaire	55
2.3.2.3 Estimation de l'orientation de l'hélicoptère par rapport à la paroi	56
2.3.2.4 Estimation de la distance de l'hélicoptère à la paroi	57
2.3.2.5 Estimation de la durée du stationnaire	58
2.4 Analyse de la dernière phase du vol (phase préparatoire et d'exécution de la récupération du sac)	58
2.4.1 Plans d'action des CRS et de l'équipage	58
2.4.1.1 Plan d'action du chef de poste	58
2.4.1.2 Plan d'action de l'équipage	59
2.5 Synthèse des expertises	62
2.6 Analyse des performances théoriques de l'appareil lors du dernier stationnaire	63
2.6.1 Evaluation de la marge en masse	63
2.6.2 Evaluation de la marge théorique de contrôle en lacet	64

2.6.3 Evolution de la marge théorique de contrôle en lacet dans le domaine de vol	65
2.7 Analyse de l'expertise du pilote concernant l'activité de secours en montagne et sur BK117 C2	65
2.7.1 Eléments relatifs à la carrière du pilote dans l'ALAT	65
2.7.2 Expertise du pilote pour l'activité de secours en montagne et sur BK117 C2	66
2.7.2.1 Eléments relatifs à la formation du pilote sur BK117 C2	66
2.7.2.2 Eléments relatifs à l'activité du pilote au sein du pool renfort montagne	66
2.8 Énoncé des hypothèses relatives aux causes de l'évènement	69
2.9 Hypothèse : une chute de pierre est à l'origine de l'évènement	69
2.10 Hypothèse : une collision des pales du RAC ou du plan vertical gauche de l'empennage avec la paroi est à l'origine de l'évènement	71
2.11 Hypothèse : une collision des pales du rotor principal avec la paroi est à l'origine de l'évènement	72
2.12 Hypothèse : une avarie technique est à l'origine de l'évènement	73
2.13 Hypothèse : l'atteinte de la limite d'efficacité du RAC est à l'origine de l'évènement	73
2.13.1 Étude de la contribution d'une demande de puissance élevée	74
2.13.1.1 Estimation de l'aérologie locale	74
2.13.2 Facteurs explicatifs d'une demande de puissance supérieure à la puissance théorique nécessaire pour tenir le stationnaire	77
2.13.3 Etude de la contribution du vent relatif	78
2.13.4 Contribution d'une inertie de rotation en lacet	81
2.13.4.1 Le départ en rotation est subi	82
2.13.4.2 Le départ en rotation est commandé	82
2.13.4.3 Analyse de l'hypothèse de la rencontre d'efforts aux palonniers, ayant pu contribuer à l'occurrence d'une action incomplète aux palonniers	83
2.13.4.4 Analyse de l'influence de l'interface homme-machine concernant le pilotage aux pieds de l'appareil sous pilote automatique à basse vitesse	83
2.13.5 Conclusion générale sur cette hypothèse	84
2.14 Hypothèse : une déficience physiologique du pilote est à l'origine de l'évènement	85
2.15 Analyse de l'occurrence d'une manœuvre d'arrêt de la rotation en lacet	85
2.15.1 Procédure d'arrêt d'une rotation en lacet	85
2.15.2 Analyse de l'occurrence d'une manœuvre d'arrêt de la rotation en lacet	85
2.16 Analyse des circonstances de la survie du CRS en cours de treuillage	86
<b>3 Conclusion</b>	<b>88</b>
3.1 Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement	88
3.1.1 Rappel du contexte	88
3.1.2 Rappel de l'évènement	88
3.1.3 Éléments établis	88
3.2 Causes de l'évènement	89
<b>4 Recommandations de sécurité</b>	<b>91</b>
4.1 Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement	91
4.2 Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'évènement	94
<b>ANNEXES</b>	<b>97</b>
<b>1 Présentation générale du contrôle en lacet sur BK117 C2</b>	<b>98</b>
<b>2 Traces d'impacts sur le relief postérieures aux rotations en lacet</b>	<b>100</b>
2.1 Dépôts de peinture jaune et rouge	100
2.2 Traces de frottement sur la roche	100
2.3 Ensemble de traces n°1	102
2.4 Ensemble de traces n°2	103
2.5 Trace n°3	104
<b>3 Événements survenus sur BK117 C2 au sein de la DDSC</b>	<b>106</b>
3.1 Accident du BK117 C2 n° 9009 le 20 juillet 2003, dans le massif de l'Arbizon	106
3.2 Incident du BK117 C2 n°9030 le 22 janvier 2004, au Pic de Balaitous	107
<b>4 Campagnes d'essais de manoeuvrabilité à haute altitude</b>	<b>108</b>
<b>5 Anomalies concernant la chaîne de lacet du BK117 C2 : cas rencontrés au sein de la DDSC, mesures prises ou en cours</b>	<b>111</b>
5.1 Efforts dynamiques aux pédales	111

5.2 Manque de précision du système de détection <i>feet-on, feet-off</i> à basse vitesse _____	112
<b>6 Résultats des expertises _____</b>	<b>113</b>
6.1 Conclusions des expertises réalisées au CEPr _____	113
6.1.1 Conclusion des analyses de fluides _____	113
6.1.2 Conclusion des expertises des ensembles mécaniques _____	113
6.2 Conclusions des expertises réalisées au CEAT _____	114
6.3 Conclusions des expertises réalisées par la société Turboméca _____	115
6.4 Conclusions des expertises réalisées par la société Liebherr Aerospace _____	115
6.5 Résultats de l'analyse des données extraites d'équipements de bord _____	115
6.5.1 Analyse des données extraites du VEMD/CAD _____	115
6.5.2 Analyse des données extraites des calculateurs APM du pilote automatique _____	116
6.5.3 Analyse des données extraites du système de navigation NMS _____	117
6.5.4 Analyse des données extraites du FCDS _____	118

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Photo 1 : situation du lieu de l'accident (vu depuis le poste de secours de Gavarnie) .....	15
Photo 2 : identification des 3 zones de répartition des débris de l'appareil.....	27
Photo 3 : positionnement de la vire sur la paroi, entre 2710 et 2750 m.....	28
Photo 4 : répartition des débris dans la partie haute du site (zone A).....	30
Photo 5 : positionnement des principaux débris sur le surplomb, vers 2560 m.....	31
Photo 6 : débris de la poutre de queue .....	32
Photo 7 : débris de la cellule .....	33
Photo 8 : débris de la BTA et du RAC.....	34
Photo 9 : débris du rotor principal .....	34
Photo 10 : vue du sac de test après son lancé, et des matériels provenant du sac tombé le jour de l'accident.....	38
Photo 11 : position du sac de test après son lancé, vue depuis la position de la témoin randonneuse sur l'arête.....	39
Photo 12 : montage montrant la position de l'appareil vue par le chef de poste, juste avant le début des rotations en lacet.....	48
Photo 13 : positionnement des différents constats faits dans la partie haute du site.....	51
Photo 14 : positionnement des différents constats : zoom sur la partie droite de la vire.....	52
Photo 15 : récapitulatif des données recueillies sur la partie haute du site de l'accident .....	54
Photo 16 : estimation de la zone dans laquelle a été réalisé le dernier stationnaire.....	56
Photo 17 : fumée provenant de l'épave et remontant le pente .....	75
Photo 18 : positionnement des traces par rapport à la vire .....	101
Photo 19 : positionnement des plus grandes traces.....	101
Photo 20 : identification des 3 traces de l'ensemble n°1 .....	102
Photo 21 : zoom sur 2 traces de l'ensemble n°1 .....	103
Photo 22 : identification des trois traces de l'ensemble n°2 .....	104
Photo 23 : trace n°3.....	105
Figure 1 : position de l'appareil lors du stationnaire .....	79
Figure 2 : vent relatif subi lors de la translation .....	79
Figure 3 : vent relatif subi au début de la rotation .....	80
Figure 4 : effet maximal du vent météorologique après environ 90° de rotation .....	81

**GLOSSAIRE**

AFCS	<i>Auto-flight control system</i> Système de commandes de vol automatique (Pilote automatique)
ALAT	Aviation légère de l'armée de terre
BEA	Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile
BEAD-air	Bureau enquêtes accidents défense air
BTA	Boîte de transmission arrière
BTI	Boîte de transmission intermédiaire
BTP	Boîte de transmission principale
CAD	<i>Cautions and advisories display</i> Écran d'affichage des messages d'avertissements et d'information
CEAT	Centre d'essais aéronautiques de Toulouse
CEPr	Centre d'essais des propulseurs de Saclay
CEV	Centre d'essais en vol
CPDS	<i>Central panel display system</i> Système de visualisation pupitre central
CRS	Compagnie républicaine de sécurité
DAG	Détachement aérien de gendarmerie
DDSC	Direction de la défense et de la sécurité civiles
DES	Dans l'effet de sol



DGA	Délégation générale pour l'armement
DGGN	Direction générale de la Gendarmerie Nationale
DSA	Direction des systèmes d'armes
ECD	Eurocopter <i>Deutschland</i>
FCDS	<i>Flight control display system</i> Écran de pilotage
Ft	<i>Feet</i> Pied (1 ft $\approx$ 0,30 mètre)
GH	Groupeement d'hélicoptères
GMA	Groupeement des moyens aériens
GTM	Groupe turbomoteur
HES	Hors effet de sol
Kt	<i>Knots</i> Nœuds (1 kt $\approx$ 1,852 km/h)
MOB	Mécanicien opérateur de bord
Nm	<i>Nautical mile</i> Mille nautique (1 Nm $\approx$ 1852 mètres)
PA	Pilote automatique
PGHM	Peloton de gendarmerie de haute montagne

RAC	Rotor anti-couple
SEMA	<i>Smart electro mechanical actuator</i> Actionneur électromécanique intelligent
VEMD	<i>Vehicule and engines monitoring display</i> Visualisation contrôle moteur et véhicule
VHF	<i>Very high frequency</i> Très haute fréquence

## **SYNOPSIS**

- Date de l'événement : lundi 05 juin 2006 vers 12h20<sup>1</sup> ;
- Lieu de l'événement : face Ouest du Petit Astazou, commune de Gavarnie, Hautes-Pyrénées (65) ;
- Organisme : ministère de l'intérieur, direction de la défense et de la sécurité civiles (DDSC), sous direction des services opérationnels, groupement des moyens aériens (GMA), groupement d'hélicoptères (GH), Base d'hélicoptères de Pau ;
- Aéronef : hélicoptère BK117 C2<sup>2</sup>, constructeur Eurocopter Allemagne (ECD), immatriculé F-ZBPB, n°9007 ;
- Nature du vol : exercice de secours en haute montagne ;
- Nombre de personnes à bord : 4
  - ⇒ équipage : un pilote commandant de bord et un mécanicien opérateur de bord (MOB) ;
  - ⇒ deux CRS<sup>3</sup> secouristes en montagne.

### **Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis**

Lors d'une mission d'entraînement, plusieurs témoins voient l'appareil tourner rapidement sur l'axe de lacet, puis heurter la paroi et prendre feu. Les trois occupants sont tués. Le CRS en cours d'hélicitreuillage est gravement blessé.

---

<sup>1</sup> Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heures locales. Il convient d'y retrancher 2 heures pour obtenir l'heure en temps universel coordonné (UTC).

<sup>2</sup> L'appellation commerciale de cet appareil est EC 145.

<sup>3</sup> CRS : compagnie républicaine de sécurité.

### **Composition du groupe d'enquête technique**

- Un directeur d'enquête technique du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air).
- Un enquêteur adjoint du BEAD-air.
- Un enquêteur de première information (EPI) de l'aviation légère de l'armée de terre (ALAT).
- Un pilote de la DDSC ayant une expertise sur BK117 C2.
- Un pilote de la DGGN ayant une expertise sur BK117 C2.
- Un mécanicien de la DDSC ayant une expertise sur BK117 C2.
- Un médecin du personnel navigant de la DDSC.

### **Autres experts consultés**

Des organismes et des sociétés ont réalisé des expertises d'éléments de l'épave :

- CEPr, centre d'essais des propulseurs de Saclay (DGA, délégation générale pour l'armement).
- CEAT, centre d'essais aéronautiques de Toulouse (DGA).
- Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA).
- Turboméca.
- Liebherr Aerospace Linderberg (Allemagne).
- CMC Electronics (Canada).
- Fokker (Hollande).

D'autre part, des experts du constructeur Eurocopter et du CEV, centre d'essais en vol (DGA) ont été consultés.

## **Déclenchement de l'enquête technique**

Le BEAD-air est prévenu de l'accident par un appel téléphonique de la permanence du BEA à 13h00.

Le groupe d'enquête se réunit, en partie, sur la base de Pau vers 20h00.

Il se rend au poste de secours de Gavarnie le lendemain matin. Le site de l'accident est survolé en hélicoptère puis une partie des membres du groupe est déposée dans l'après-midi sur la partie basse du site, vers 2400 m d'altitude, par un BK117 C2 de la DDSC.

## **Eléments relatifs à l'organisation de l'enquête technique**

Des investigations ont notamment été menées sur la partie haute du site de l'accident, entre 2500 et 2800 m d'altitude, par le peloton de gendarmerie de haute montagne (PGHM) de Pierrefitte-Nestalas (Hautes-Pyrénées).

Les différentes parties de l'épave ont été récupérées par hélitreuillage le 07 juillet 2006 puis entreposées pour inspection dans un hangar sur l'aérodrome de Tarbes.

Des expertises de l'épave, dont certains équipements de bord, ont été réalisées entre septembre 2006 et juin 2007.

## **Enquête judiciaire**

- Le Parquet de Tarbes s'est saisi de l'affaire.
- Un officier de police judiciaire (OPJ) de la brigade de gendarmerie des transports aériens (BGTA) a été commis.

## **1 RENSEIGNEMENTS DE BASE**

### **1.1 Déroulement du vol**

#### ***1.1.1 Mission***

Indicatif mission	<b>DRAGON 64</b>
Type de vol	<b>CAG<sup>4</sup> / VFR<sup>5</sup></b>
Type de mission	<b>Exercice de secours en haute montagne</b>
Dernier point de départ	<b>Poste de secours de Gavarnie</b>
Heure de départ	<b>12h05</b>
Point d'atterrissage prévu	<b>Poste de secours de Gavarnie</b>

#### ***1.1.2 Contexte de la mission***

Cet exercice, prévu initialement dans les jours précédant l'accident, est effectué au profit de la section montagne de la CRS 29 de Lannemezan, alors en détachement à Gavarnie.

L'exercice est lancé le matin du 05 juin 2006, au vu des disponibilités des intervenants et des conditions météorologiques jugées favorables, lors d'un contact téléphonique entre le chef du poste de secours et le pilote.

Celui-ci débute une période de renfort<sup>6</sup> sur la base de Pau, sur BK117 C2.

Le thème de l'exercice est « *le conditionnement et l'évacuation par voie aérienne d'un blessé en paroi, en haute altitude* ».

<sup>4</sup> CAG : circulation aérienne générale.

<sup>5</sup> VFR : *visual flight rules*, règles de vol à vue.

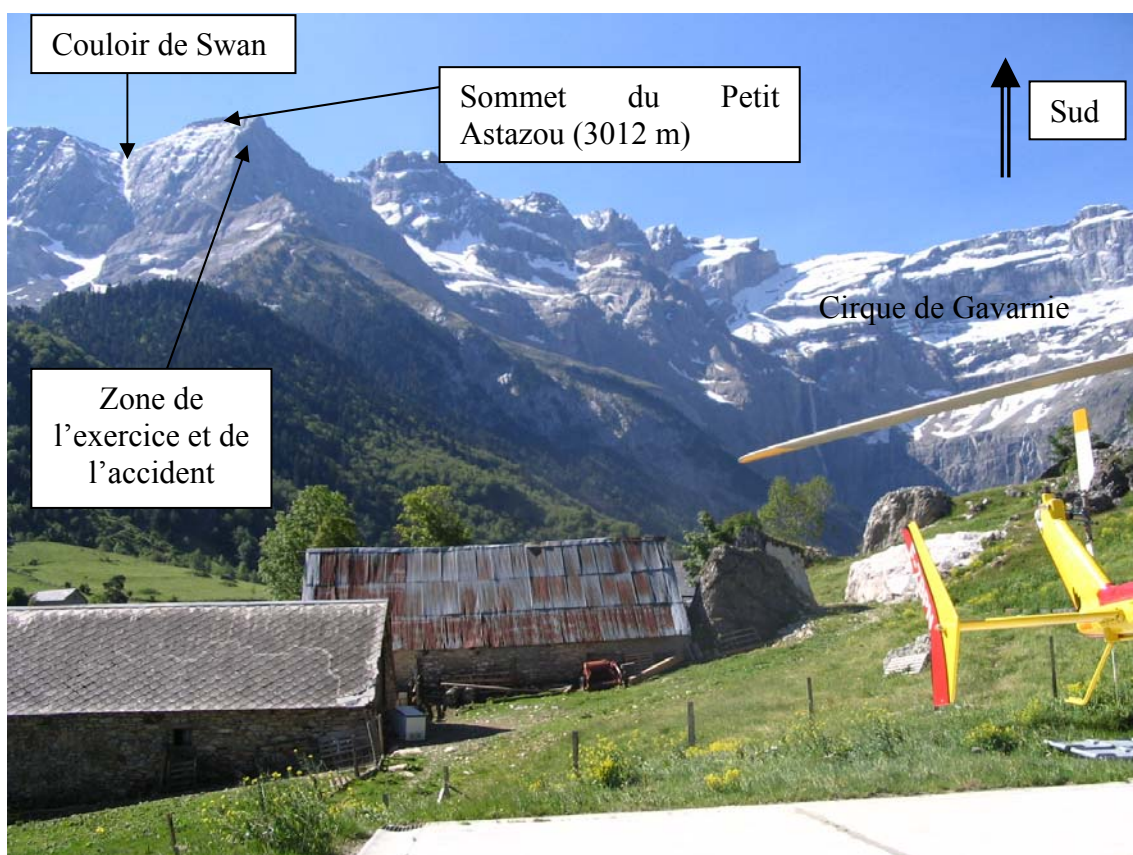
<sup>6</sup> Affecté à Nîmes, le pilote fait partie du pool renfort montagne, et effectue à ce titre des périodes sur des bases montagne.

### 1.1.3 Description des vols précédents réalisés le 5 juin 2006

#### 1.1.3.1 Mise en place de l'hélicoptère à Gavarnie

L'équipage est constitué du pilote et du MOB<sup>7</sup>. L'appareil décolle vers 09h45 de la base hélicoptère de Pau à destination du poste de secours de Gavarnie, où il atterrit vers 10h05. L'équipage détaille le déroulement de l'exercice avec le chef de poste et les quatre CRS y prenant part.

#### 1.1.3.2 Dépose des cinq CRS en altitude, sur le lieu de l'exercice



*Photo 1 : situation du lieu de l'accident (vu depuis le poste de secours de Gavarnie)*

<sup>7</sup> MOB : mécanicien opérateur de bord.

L'appareil décolle vers 10h45 et effectue deux rotations entre le poste de secours et l'arête Nord-ouest du Petit Astazou vers 2800 m d'altitude. La trajectoire d'approche est orientée Nord/Sud, le couloir de Swan étant laissé par le travers gauche.

A la première rotation, le chef de poste (CRS 1) et le CRS 2<sup>8</sup> sont hélitreuillés l'un après l'autre sur le replat le plus haut de cette arête.

A la deuxième rotation, les trois autres CRS embarquent rotor tournant puis sont déposés de la même façon vers 11h05. Lors de la dépose du CRS 3, son sac est projeté dans la pente par le souffle rotor.

L'appareil effectue ensuite un vol local d'une dizaine de minutes avant d'atterrir au poste de secours.

#### ***1.1.4 Description de l'exercice sur la paroi***

Le chef de poste et le CRS 2 installent un amarrage et descendent 25 m en rappel. Ils prennent la position d'une cordée en difficulté avec un blessé (joué par le CRS 2). Le chef de poste supervise l'exercice et réalise des photos de son déroulement.

Les CRS 3 à 5, qui effectuent le secours, installent une main courante. Deux d'entre eux rejoignent le blessé fictif, l'équipent, puis le remontent sur l'arête, quelques mètres plus bas que le replat où ont été effectuées les déposes.

#### ***1.1.5 Description du vol durant lequel se produit l'accident***

Cette description est principalement basée sur les témoignages du chef de poste et d'une randonneuse située plus bas que lui sur l'arête.

Le chef de poste contacte le pilote par téléphone portable vers 11h45 pour l'évacuation du blessé fictif.

L'appareil décolle vers midi et hélitreuille simultanément le blessé fictif (CRS 2) et le CRS 4 le prenant en charge. La trajectoire d'approche est similaire à celle utilisée le matin lors des déposes.

---

<sup>8</sup> Les CRS sont ici désignés CRS 1 à CRS 5 dans l'ordre de dépose sur l'arête.



L'appareil s'éloigne dans la vallée puis fait demi-tour et revient se positionner en stationnaire à quelques dizaines de mètres en contrebas du lieu d'hélicoptère. Le CRS 4 est alors hélitreuillé et il récupère le sac tombé le matin.

Alors que ce CRS se trouve en fin de remontée au treuil, proche du patin, l'appareil s'écarte de la paroi, puis effectue plusieurs rotations autour de l'axe de lacet avant de percuter le relief.

L'appareil chute alors en impactant plusieurs fois la paroi, en se disloquant et en prenant feu. Il finit sa course sur un pierrier vers 2400 m d'altitude.

Les secours constatent le décès du pilote, du MOB et du CRS 2. Le CRS 4, qui était en cours d'hélicoptère, est gravement blessé.

#### ***1.1.6 Localisation***

➤ Lieu :

⇒ Pays : France.

⇒ Département : Hautes-Pyrénées (65).

⇒ Commune : Gavarnie.

⇒ Face Ouest du Petit Astazou, vers 2800 m d'altitude.

⇒ Coordonnées géographiques :

▪ N 42° 42' 10'' ;

▪ E 000° 00' 45''.

➤ Moment : jour.

## 1.2 Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles	2	1	
Graves		1	
Légères / Aucunes			

## 1.3 Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
		X		

## 1.4 Autres dommages

Néant.

## 1.5 Renseignements sur le personnel

### 1.5.1 Pilote

- Age : 41 ans.
- Qualification : licence de pilote professionnel hélicoptère, de septembre 1988.
- Pilote dans l'ALAT<sup>9</sup> de 1985 à janvier 2004.
- Date d'entrée au groupement d'hélicoptères de la DDSC : février 2004.
- Unité d'affectation : échelon central à Nîmes.
- Intégré au « pool renfort montagne » depuis mai 2004 sur Alouette III (SA 316 B), puis depuis juillet 2005, sur BK117 C2.
- Il totalise près de 4700 heures sur hélicoptères.

---

<sup>9</sup> ALAT : Aviation légère de l'armée de terre.

- Heures de vol comme pilote<sup>10</sup> à la DDSC :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Sur BK117 C2	Sur tous types	Sur BK117 C2	Sur tous types	Sur BK117 C2
Total	352	214	74	74	20	20
Dont en tant que CDB	210	124	63	63	16	16

- Date du dernier vol effectué sur BK117 C2 : le 24 mai 2006 (vol de prorogation IFR<sup>11</sup> sur la base de Nîmes).

### 1.5.2 Mécanicien opérateur de bord (MOB)

- Age : 47 ans.
- Date d'entrée au groupement hélicoptères : septembre 1995.
- Unité d'affectation : base hélicoptères de Pau, depuis juillet 2004.
- Fonction dans l'unité : responsable mécanicien.
- Qualification BK117 C2 obtenue en septembre 2003 au centre d'instruction de Nîmes (cellule, treuil opérateur de bord).
- Heures de vol en tant que MOB à la DDSC :

	Sur tous types	Sur BK117 C2
Total	1947	461

<sup>10</sup> Arrêtés au 24 mai 2006.

<sup>11</sup> IFR : *instrumental flight rules*, règles de vol aux instruments.

- Nombre de treuillages réalisés à la DDSC :

	Sur tous types	Sur BK117 C2
Total	1100	526

- Dernier contrôle en vol d'aptitude à la fonction d'opérateur treuilliste : effectué sur BK117 C2 le 23 mars 2006.
- Derniers vols réalisés par le même équipage : 7 vols effectués sur BK117 C2 les 10, 11 et 12 février 2006.

### **1.5.3 CRS secouristes**

#### *1.5.3.1 CRS à bord*

- Age : 33 ans.
- Unité d'affectation : CRS 29 de Lannemezan.

#### *1.5.3.2 CRS en cours de treuillage*

- Age : 32 ans.
- Unité d'affectation : CRS 29 de Lannemezan.

## **1.6 Renseignements sur l'aéronef**

### **1.6.1 Caractéristiques générales du BK117 C2**

Le premier vol de la version C2 a été réalisé en juin 1999. Sa masse maximale autorisée est de 3585 kg.

Le BK117 C2 est motorisé par 2 groupes turbomoteurs (GTM) Turboméca Arriel 1E2, d'une puissance maximale au décollage de 550 KW.

Il est équipé d'un rotor principal quadri-pales, rigide, et d'un rotor anti-couple (RAC) semi-rigide à deux pales. La structure des pales du rotor principal et du rotor anti-couple est en matériau composite.

Le principe du contrôle en lacet sur cet appareil est présenté en annexe 1.

### 1.6.2 Données sur l'appareil accidenté

- Base de stationnement : base hélicoptères de Pau.
- Date de mise en service à la DDSC : juin 2002.
- Configuration : standard montagne<sup>12</sup>.

	Type	Numéro de série	Heures de vol totales <sup>13</sup>	Heures de vol depuis la visite 100h	Heures de vol depuis la visite 300 h
Cellule	BK117 C2	9007	1707h20	28h	226h
Moteur Gauche	Arriel 1 E2	18602	1707h20	28h	226h
Moteur Droit	Arriel 1 E2	18604	1707h20	28h	226h

#### 1.6.2.1 Maintenance

La dernière visite programmée (visite intermédiaire type 100h) a été effectuée le 23 mai 2006, soit deux semaines avant l'accident.

Cet appareil faisait l'objet depuis deux mois d'un suivi particulier concernant des criques affectant la structure au niveau de la fixation du plan fixe horizontal droit sur la poutre de queue.

Six fiches techniques d'anomalie concernant cet appareil ont été émises depuis juillet 2004.

La dernière fiche a concerné le remplacement, le 1<sup>er</sup> juin 2006, de la tuyauterie de sortie de la pompe hydraulique n°1<sup>14</sup>, suite à une fuite constatée peu après le décollage le 28 mai 2006. Un point fixe et un vol de contrôle ont été réalisés suite à ce remplacement

<sup>12</sup> Principaux équipements spécifiques à ce standard : plancher renforcé, patins courts, équipements de survie.

<sup>13</sup> Heures de vol arrêtées le soir du 04 juin 2006.

<sup>14</sup> Sous condition normale de fonctionnement, les deux circuits hydrauliques n°1 et 2 fournissent simultanément la pression nécessaire pour assister les entrées de commande du rotor principal. Le circuit n°2 assiste également les entrées de commande du RAC.

le 02 juin 2006 en fin d'après-midi. La machine a effectué environ huit heures de vol entre cette réparation et le matin du 05 juin 2006.

#### *1.6.2.2 Carburant*

La capacité maximale en carburant du BK117 C2 est de 870 L (690 kg), de type kérosène.

La masse de carburant restante, indiquée sur la feuille de contrôle (« formule 11 ») suite au dernier vol effectué le 04 juin 2006, est de 450 kg.

Un complément de plein (81 L, soit environ 64 kg) a été réalisé le matin du 05 juin 2006, avant le décollage de Pau, à partir de la cuve d'avitaillement de la base sécurité civile<sup>15</sup>. La masse de carburant au décollage de Pau est donc estimée à 514 kg.

La masse de carburant au moment de l'évènement est estimée à 235 kg.

#### *1.6.2.3 Masse et centrage*

L'équipage a établi, avant le départ de Pau, au moins un devis de masse et centrage, qui fait référence à une des configurations rencontrées durant l'exercice<sup>16</sup>.

Les masses et les centrages estimés lors des investigations sont :

- au décollage de Pau : 3010 kg et 4,430 m ;
- au moment de l'évènement : 2950 kg et 4,450 m.

Il est établi que l'appareil était dans les limites de masse et de centrage lors des vols réalisés le 05 juin 2006.

#### *1.6.2.4 Treuil*

Le treuil (de marque Goodrich) est à vitesse variable et à une capacité maximum de 270 kg. La longueur maximale de câble utilisable est de 90 m.

---

<sup>15</sup> Ce complément a été déduit de la lecture de l'afficheur de la pompe d'avitaillement.

<sup>16</sup> L'établissement d'un devis a été constaté sur le micro-ordinateur de la base, équipé d'un logiciel dédié. La configuration de ce devis est : masse à vide équipée : 2189 kg, pilote et MOB en place avant, deux passagers en siège troupe, 400 kg de carburant.

Il est monté sur le côté gauche de l'appareil<sup>17</sup> n°9007.

Il est équipé d'un dispositif de cisaillement pyrotechnique du câble, actionnable soit par le pilote au niveau du manche collectif, soit par le MOB au niveau de la commande de treuil.

#### *1.6.2.5 Balises de détresse*

Une balise de détresse embarquée de type AERTEX C406-HM est montée sur le plancher, à l'arrière droit du siège pilote (émission par déclenchement manuel ou automatique sur 121.5, 243 et 406 Mhz<sup>18</sup>). Cette balise s'est déclenchée lors de l'accident<sup>19</sup>.

Deux balises portatives sont installées derrière les sièges pilote et co-pilote (émission par déclenchement manuel sur les fréquences 121.5 et 243 Mhz). Il est vraisemblable que ces balises n'ont pu être actionnées par aucun des occupants.

### **1.7 Conditions météorologiques**

#### *1.7.1 Situation générale*

Un anti-cyclone, centré sur les îles britanniques, dirige sur les Pyrénées un régime de Nord à Nord-Est. Le temps est ensoleillé sur le massif, mis à part quelques cumulus sur le relief.

---

<sup>17</sup> Le treuil est monté côté gauche sur les BK117 C2 de la DDSC affectés au secours en montagne. Il est possible sur ces appareils de monter le treuil à droite

<sup>18</sup> Mhz : Mégahertz

<sup>19</sup> Réception sur 121.5 Mhz par le centre de contrôle et de mission COSPAS-SARSAT de Toulouse.

## ***1.7.2 Conditions météorologiques dans la zone de l'accident***

### *1.7.2.1 Estimation par Météo France*

Les services de Météo France ont établi, après l'évènement, une estimation des conditions générales présentes vers 2600 m d'altitude (hors du relief), au moment de l'accident :

- Ciel clair, visibilité supérieure à 10 km.
- Vent 360°/5 à 10 kt<sup>20</sup>, turbulence nulle.
- Température 7°C.
- QNH<sup>21</sup> 1019 hPa<sup>22</sup>.

### *1.7.2.2 Constatations des CRS présents sur l'arête*

Les observations suivantes ont été rapportées par les CRS ayant participé à l'exercice de secours, vers 2800 m :

- Très beau temps, ciel clair ;
- vent nul à très faible.

## **1.8 Aides à la navigation**

Sans objet.

## **1.9 Télécommunications**

### ***1.9.1 Communication entre le pilote et le contrôle aérien***

Avant le décollage de Pau, le pilote a contacté la fréquence tour de ce terrain. Il contacte ensuite la fréquence du secteur d'information de vol (SIV), en sortie de la zone de contrôle terminale (CTR). Il indique, avant de quitter cette fréquence SIV, qu'il passe sur la fréquence d'auto-information « montagne », en abordant les contreforts pyrénéens, environ 5 min après avoir franchi la limite sud de la CTR.

---

<sup>20</sup> kt : *knots* - nœuds (1 kt ≈ 1,852 km/h).

<sup>21</sup> QNH : pression atmosphérique ramenée au niveau de la mer.

<sup>22</sup> hPa : hectopascal.



Cette fréquence « montagne » n'est pas enregistrée. Aucun témoignage d'écoute de messages de DRAGON 64 sur cette fréquence n'a été recueilli.

### ***1.9.2 Communication entre le pilote et le MOB***

Le pilote et le MOB, ainsi que les passagers éventuellement connectés, communiquent par l'interphone de bord. Le chef du poste de secours rapporte que, s'étant connecté à ce réseau de bord lors du vol effectué le matin du 05 juin 2006, il a pu constater son bon fonctionnement. Les conversations ne sont pas enregistrées.

### ***1.9.3 Communication entre l'équipage et les CRS***

Les cinq CRS sont équipés de radios portatives, émettant sur des fréquences dites « tactiques », non enregistrées, pouvant leur permettre de dialoguer entre eux et avec l'équipage. Le poste de pilotage de l'hélicoptère est équipé d'un poste dédié.

Deux des CRS sont équipés d'oreillettes, de micros (et de casques anti-bruit) afin de dialoguer avec l'équipage lorsque l'appareil est à proximité, notamment lors des phases de treuillage.

Le chef de poste rapporte que le 05 juin 2006, les CRS sont interconnectés entre eux et qu'ils ne sont pas en contact VHF<sup>23</sup> avec l'équipage.

## **1.10 Renseignements sur l'aérodrome**

### ***1.10.1 Aérodrome de Pau***

Il est situé à 43 Nm<sup>24</sup> au Nord Nord-Est de Gavarnie.

La base hélicoptère de la DDSC est équipée d'une cuve d'avitaillement. Le dernier remplissage de cette cuve a été réalisé le matin du 04 juin 2006, soit la veille de l'accident<sup>25</sup>. Au moins deux compléments de plein, et au moins 3h20 min de vol ont été réalisés sur l'appareil n°9007 entre le remplissage de la cuve et l'accident.

---

<sup>23</sup> VHF : *Very high frequency* - Très haute fréquence.

<sup>24</sup> Nm : *Nautical mile* - Mille nautique (1 Nm ≈ 1852 mètres).

<sup>25</sup> Ajout de 8110 litres.

### ***1.10.2 Aire de posé du poste de secours de Gavarnie***

Elle est située à proximité immédiate du poste de secours, à une altitude d'environ 1400 m. Elle est à 1,80 Nm dans le 350° du lieu de l'événement.

Le 05 juin 2006, la cuve d'avitaillement était indisponible depuis plusieurs jours, suite à la découverte d'une pollution interne due à un défaut d'étanchéité.

### **1.11 Enregistreurs de bord**

Les hélicoptères BK117 C2 en service dans la DDSC n'étaient équipés au moment de l'évènement d'aucun enregistreur de paramètres ou audio.

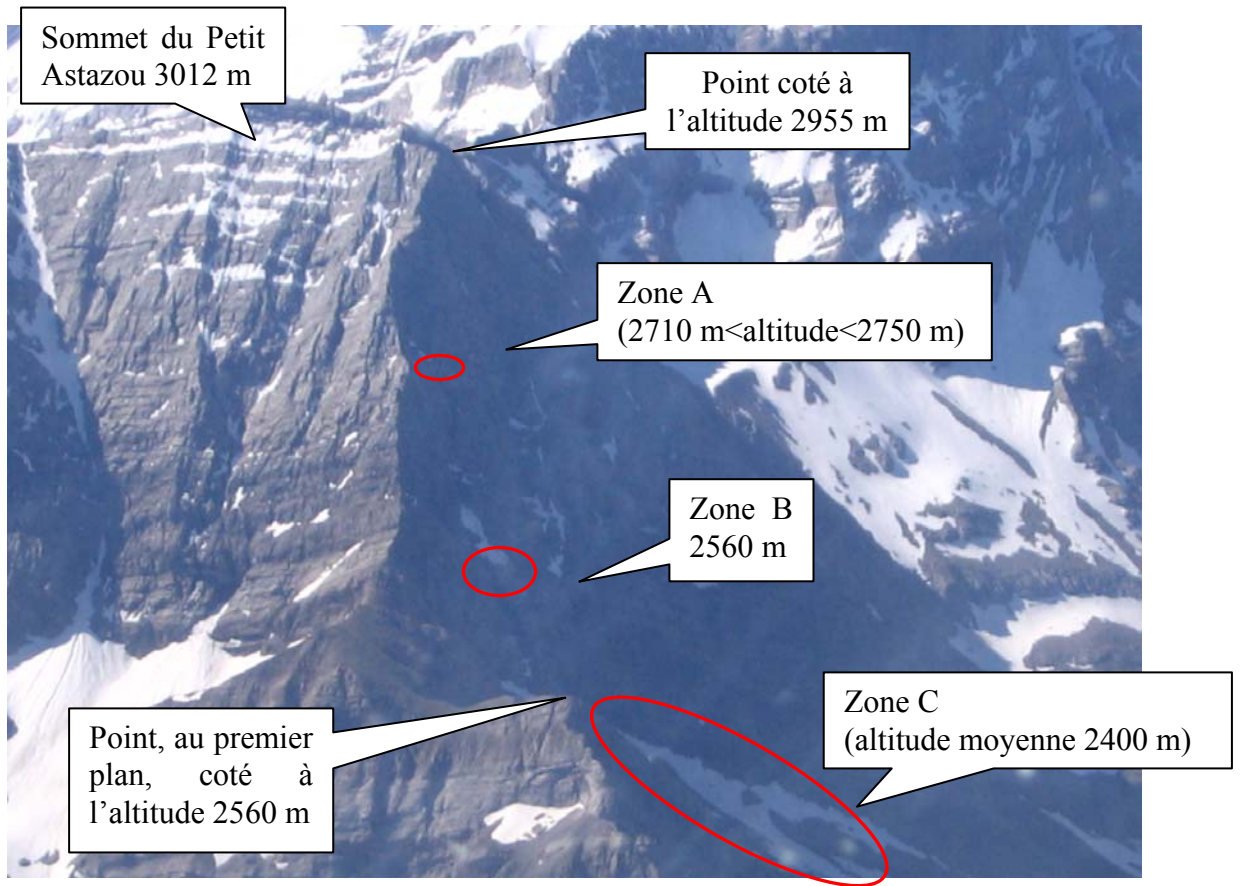
Des mémoires statiques de certains calculateurs embarqués ont été transmises au BEA et aux sociétés CMC Electronics (Canada) et Fokker (Hollande) pour en extraire les données et les exploiter.

### **1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact**

L'appareil a heurté la paroi plusieurs fois dans sa chute, en se disloquant. Des débris sont recensés sur un dénivelé d'environ 400 m.

#### ***1.12.1 Répartition des débris***

Trois zones principales, dénommées A, B et C de haut en bas du relief, sont identifiées. La pente est importante dans les zones A et B, elle est moyenne dans la zone C.



*Photo 2 : identification des 3 zones de répartition des débris de l'appareil*

### 1.12.1.1 Zone A

Les débris situés aux altitudes les plus élevées sont retrouvés sur et au-dessus d'une vire<sup>26</sup>.

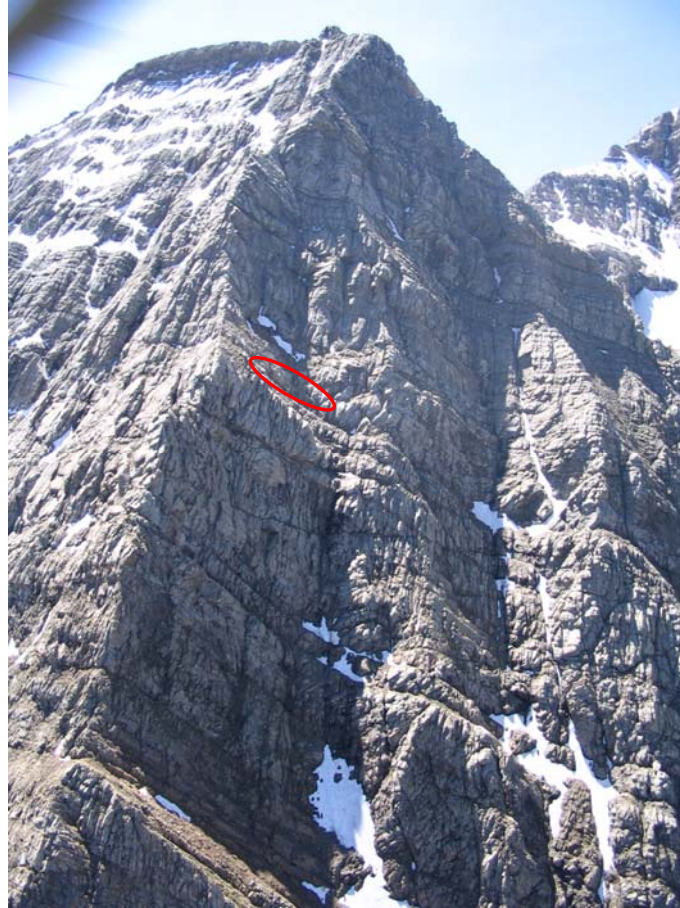


Photo 3 : positionnement de la vire sur la paroi, entre 2710 et 2750 m

Des filaments de composite des pales principales et du RAC sont retrouvés dans toute cette zone, jusqu'à une vingtaine de mètres au-dessus de la vire, sur la partie gauche de celle-ci, la paroi étant vue de face (vers l'arête).

---

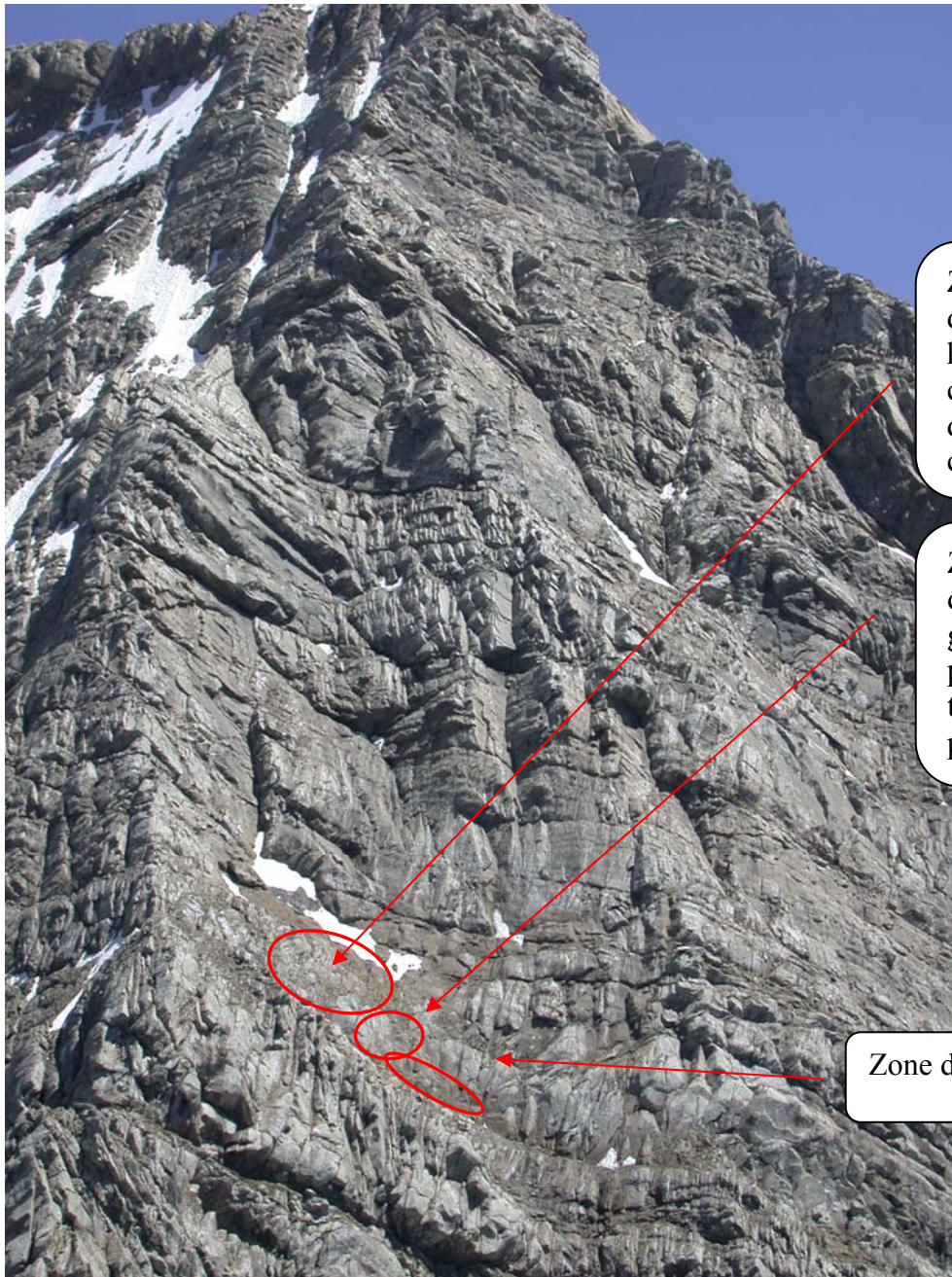
<sup>26</sup> Vire : terrasse étroite sur la paroi verticale d'une montagne.

Sont ensuite trouvés à environ 6 m au-dessus de la vire, toujours sur la gauche :

- un morceau de revêtement de pale RAC ;
- des débris de la dérive gauche ;
- le feu de sommet de dérive ;
- un morceau de tige de plomb (issu du bord d'attaque d'une pale principale).

Puis sont trouvés sur la vire :

- l'ensemble boule du treuil-crochet relié à un morceau de câble ;
- un morceau de cadre de jonction de la poutre de queue ;
- un morceau de palonnier ;
- des débris de plexiglas (pare-brise) ;
- des débris de revêtement interne du fuselage (de couleur grise) ;
- un morceau de patin d'atterrissage, équipé de déflecteurs de câble ;
- l'antenne VHF tactique ;
- la tresse anti-statique du treuil ;
- l'enveloppe de la batterie ;
- le casque du pilote.



Zone de récupération des débris situés les plus hauts (filaments de composite des pales, débris de plaques composite)

Zone où sont trouvés des débris de la dérive gauche, un feu de position, un morceau de tige de plomb d'une pale principale).

Zone des débris sur la vire

*Photo 4 : répartition des débris dans la partie haute du site (zone A)*

*1.12.1.2 Zone B : surplomb situé vers 2560 m*

Ont notamment été retrouvés sur ce surplomb :

- la partie arrière de la poutre de queue, équipée de la dérive droite ;
- le treuil, équipé de sa bobine et de son support ;
- un arbre d'accouplement moteur ;
- des débris de pales principales.



*Photo 5 : positionnement des principaux débris sur le surplomb, vers 2560 m*



Photo 6 : débris de la poutre de queue

*1.12.1.3 Zone C : pierrier situé entre 2350 et 2450 m*

La cellule, disloquée, s'est immobilisée sur ce pierrier. La boîte de transmission principale (BTP) est liée à la cellule.





Photo 7 : débris de la cellule

Les parties suivantes ont d'autre part été retrouvées sur le pierrier, séparées de la cellule :

- les 2 groupes turbomoteurs (GTM) ;
- la boîte de transmission arrière (BTA) et le rotor anti-couple ;
- le rotor principal ;
- l'arbre de transmission arrière.



*Photo 8 : débris de la BTA et du RAC*



*Photo 9 : débris du rotor principal*

### ***1.12.2 Traces d'impact sur le relief***

Les traces recensées par le PGHM dans la partie haute du site sont détaillées en annexe 2. Ces traces sont situées quelques mètres au-dessus de la vire. Elles résultent des premiers impacts de l'appareil, suite aux rotations en lacet.

### ***1.12.3 Opérations de récupération de l'épave***

Après leur identification et le relevé de leur positionnement, les éléments de l'épave ont été rassemblés dans onze sacs<sup>27</sup>. Ces sacs ont été hélitreuillés le 07 juillet 2006 par un hélicoptère Ecureuil AS 350 B3 d'une société civile, pour être descendus dans la vallée puis rassemblés ensuite dans un hangar sur l'aérodrome de Tarbes.

Les éléments y ont fait l'objet d'un premier examen le 11 juillet 2006, puis ils ont été acheminés fin juillet vers les centres d'expertise.

## **1.13 Renseignements médicaux et pathologiques**

### ***1.13.1 Membres d'équipage de conduite***

#### ***1.13.1.1 Pilote***

- Dernier examen médical :
  - ⇒ Type : CEMPN<sup>28</sup> ;
  - ⇒ date : 12 février 2006 ;
  - ⇒ résultat : apte ;
  - ⇒ validité : 6 mois.
- Examens biologiques : réalisés, aucun fait susceptible d'avoir un lien avec l'évènement n'a été mis en évidence ;
- Blessures : poly traumatismes ayant entraîné le décès.

---

<sup>27</sup> Les bouteilles des deux extincteurs de bord ont dû être neutralisées au préalable.

<sup>28</sup> CEMPN : centre d'expertise médicale du personnel navigant.

#### *1.13.1.2 Mécanicien opérateur de bord*

- Dernier examen médical :
  - ⇒ Type : CEMPN ;
  - ⇒ date : 22 mars 2006 ;
  - ⇒ résultat : apte ;
  - ⇒ validité : 1 an.
- Blessures : poly traumatismes ayant entraîné le décès.

#### *1.13.2 CRS secouristes*

##### *1.13.2.1 CRS à bord au moment de l'évènement*

- Blessures : poly traumatismes ayant entraîné le décès.

##### *1.13.2.2 CRS en cours d'hélicoptère au moment de l'évènement*

- Blessures graves : traumatismes crâniens et au bras, amputation nette de l'avant pied, plaie thoracique.

### **1.14 Incendie**

Aucun des témoins ne rapporte de signe d'incendie à bord avant le premier impact de l'appareil sur le relief.

### **1.15 Survie des occupants**

#### *1.15.1 Organisation des secours*

Le chef de poste donne l'alerte immédiatement, vers 12h20, en composant le 15 sur son téléphone portable. Cet appel est reçu par le médecin du centre de réception et de régulation des appels du SAMU 65 à Tarbes<sup>29</sup>.

L'hélicoptère BK117 C2 du DAG de Tarbes arrive sur les lieux à 13h05, avec à son bord ce médecin et deux CRS secouristes. Ils sont treuillés auprès des occupants de

---

<sup>29</sup> Plusieurs appels, vers le 18 et le 112, ont également été émis par des randonneurs témoins de l'accident.

DRAGON 64. Deux des CRS ayant participé à l'exercice, dont le chef de poste, sont treuillés depuis l'arête vers la vire où se trouve le CRS survivant.

Le CRS survivant est treuillé avec le chef de poste et est déposé à Gavarnie par l'hélicoptère du DAG, vers 13h55. Il y est pris en charge par l'équipe médicale, renforcée d'un autre médecin et d'une infirmière du SAMU, parvenus sur place à l'aide de l'appareil du SAMU. L'hélicoptère BK117 C2 de la DDSC (Dragon 33) assure ensuite son transport vers le centre hospitalier Rangueil de Toulouse. L'appareil devant être avitaillé sur l'aéroport de Toulouse Blagnac, le CRS est conduit en ambulance vers le centre hospitalier.

#### ***1.15.2 Positionnement du rescapé et des victimes : constats effectués par les premiers secours***

Le CRS en cours de treuillage au moment de l'évènement se trouve dans la zone A, sur la vire, à 2710 m. Il est conscient à l'arrivée des premiers secours.

Les trois victimes ont été éjectées de la cellule, dans les zones B et C. Leur décès est constaté par les premiers secours.

### **1.16 Essais et recherches**

#### ***1.16.1 Recherche de la position du sac récupéré lors du stationnaire : test de lancer d'un sac***

Ce test a été réalisé le 23 juin 2006 par le PGHM afin d'évaluer l'endroit au-dessus duquel a été réalisé le dernier stationnaire lors de la récupération du sac.

Le sac de test, lesté de façon similaire au sac tombé le jour de l'accident<sup>30</sup>, est lancé depuis l'endroit où il avait été projeté par le souffle du rotor, à l'altitude 2830 m.

Ce sac termine sa course à l'altitude 2745 m, à la verticale et au-dessus des traces constatées sur les rochers.

---

<sup>30</sup> Masse : 6 kg.

A un mètres au-dessus et deux mètres à droite du point de chute du sac de test, sont retrouvés des matériels d'escalade dont il a été déterminé qu'ils étaient dans le sac projeté le jour de l'accident.



*Photo 10 : vue du sac de test après son lancé, et des matériels provenant du sac tombé le jour de l'accident*



*Photo 11 : position du sac de test après son lancé, vue depuis la position de la témoin randonneuse sur l'arête*

### ***1.16.2 Expertises réalisées au CEPr***

Les éléments fournis au CEPr sont principalement :

- la partie principale de la cellule, très endommagée, comprenant notamment la BTP et le mât rotor ;
- les deux GTM.

Un prélèvement de kérosène a été réalisé par le CEPr dans le réservoir d'expansion du circuit carburant de l'appareil, pour analyse.

En complément, les échantillons suivants ont été transmis au CEPr pour analyse :

- kérosène issu de la cuve d'avitaillement de la base sécurité civile de Pau ;
- prélèvement d'huile hydraulique au niveau du bloc des servocommandes du rotor principal.

La rupture du fourreau de la servocommande longitudinale a également été expertisée par le CEPr.

### ***1.16.3 Expertises réalisées au Centre d'essais aéronautiques de Toulouse (CEAT)***

Les éléments fournis au CEAT sont principalement :

- l'ensemble tête rotor et pales du rotor principal ;
- La chaîne de transmission de puissance au RAC (arbre court, arbre long, boîte de transmission intermédiaire (BTI), arbre de liaison BTI/BTA, ensemble boîte de transmission arrière (BTA) - RAC – pales RAC) ;
- l'enrouleur du treuil, sur lequel est présente une grande partie du câble ;
- Le crochet et la boule de treuil, sur lesquels est présent un morceau de câble.

### ***1.16.4 Expertises des régulateurs GTM et des boîtiers tachymétriques***

En complément des expertises des GTM réalisées au CEPr, la société Turboméca a assuré l'expertise dans son centre de Tarnos :

- des deux régulateurs GTM : leur état n'a pas permis un passage au banc de test, ils ont donc été démontés pour inspection ;
- des deux boîtiers tachymétriques de détection de survitesse GTM.

### ***1.16.5 Expertises des servocommandes***

La société Liebherr Aerospace Linderberg (Allemagne), constructeur de ces matériels, a réalisé les expertises de l'ensemble bloc hydraulique comprenant les trois servocommandes des commandes de vol du rotor principal, des deux bâches-blocs clapets, ainsi que de la servocommande de lacet. Eurocopter a été associé à ces travaux.

Les quatre servocommandes ont pu être testées au banc hydraulique.



### ***1.16.6 Expertises de calculateurs embarqués, réalisées par le BEA***

Le BEA a réalisé dans son laboratoire l'ouverture des boîtiers, l'extraction des cartes électroniques, le dessoudage des mémoires statiques, puis l'extraction et le décodage des données mémorisées dans les calculateurs suivants :

- Le VEMD<sup>31</sup> ;
- le CAD<sup>32</sup> ;
- les deux calculateurs du pilote automatique type APM 2001 (*auto-pilot module*) ;
- les deux modules de commande et de visualisation FCDM<sup>33</sup>.

L'analyse des données a été réalisée par le BEA et Eurocopter.

#### *1.16.6.1 Ensemble VEMD/CAD*

Ces équipements (fabricant Thalès) font partie du système de visualisation central (CPDS, *central panel display system*) et présentent sur trois écrans du pupitre central divers paramètres relatifs aux systèmes de bord.

L'ensemble VEMD/CAD contient des données relatives à l'historique des vols et, le cas échéant, des rapports de pannes, utilisés à des fins de maintenance.

Les trente deux derniers rapports de vol peuvent être enregistrés, chacun comprenant notamment :

- le numéro du vol ;
- le temps de vol ;
- éventuellement, des données relatives aux dépassements de la limite de moment de flexion du mât rotor (*mast moment*) ;
- éventuellement, des rapports de pannes détectées par le système CPDS (VEMD/CAD) ; certains paramètres sont alors enregistrés ;

---

<sup>31</sup> VEMD : *vehicule and engines monitoring display* - visualisation contrôle moteur et véhicule.

<sup>32</sup> CAD : *caution and advisory display* - visualisation d'informations et d'avertissements.

<sup>33</sup> FCDM : *flight control display module* - module de commande et de visualisation du vol.

- éventuellement, des indicateurs (« *flags* ») de pannes d'autres systèmes : FCDS<sup>34</sup>, AFCS<sup>35</sup>.

#### *1.16.6.2 Calculateurs APM du pilote automatique*

Ces modules contiennent, le cas échéant, des données relatives aux pannes des différents équipements du pilote automatique. La référence de temps est commune avec celle du système VEMD/CAD.

#### *1.16.6.3 Modules FCDM*

Ces modules sont des calculateurs liés au système FCDS. Ils contiennent le cas échéant des données relatives aux pannes de ce système.

Le BEA a réalisé le dessoudage des mémoires, la lecture des données puis le décodage. La société FOKKER (Hollande) a également extrait et décodé les données par le procédé de maintenance. L'analyse des données a ensuite été effectuée en collaboration avec Eurocopter.

#### *1.16.7 Expertise des calculateurs NMS, réalisée par la société CMC Electronics (Canada)*

Les données contenues dans les mémoires statiques des deux calculateurs NMS<sup>36</sup>, de type CMA-3000 ont été extraites par cette société, fournisseur de cet équipement, dans ses locaux.

Des données<sup>37</sup> sont enregistrées lorsqu'un des deux 2 calculateurs détecte une anomalie, ou un évènement.

Seules les deux mémoires RAM (une par calculateur) ont été exploitées, les mémoires de type NOVRAM (alimentées par pile) n'étant plus alimentées (soit par une chute de la tension de la pile, soit par l'endommagement des connexions de celle-ci).

L'analyse des données a été réalisée par Eurocopter.

---

<sup>34</sup> FCDS : *flight control display system* - système de visualisation des paramètres de vol (écrans de pilotage).

<sup>35</sup> AFCS: *auto-flight control system* - pilote automatique.

<sup>36</sup> NMS : *navigation management system* - calculateur de navigation.

<sup>37</sup> Notamment : heure, latitude/longitude, altitude, vitesse sol, cap, précision requise/réalisée de la navigation.

### ***1.16.8 Etude visant à évaluer la marge théorique de contrôle en lacet lors du dernier stationnaire***

Une étude de la marge théorique a été réalisée par le constructeur de l'appareil (ECD).

## **1.17 Renseignements sur les organismes**

### ***1.17.1 Renseignements relatifs au groupement d'hélicoptères (GH)***<sup>38</sup>

#### *1.17.1.1 Positionnement du GH*

Les aéronefs de la sécurité civile sont regroupés au sein du GMA comprenant un échelon central de direction et de coordination, installé en région parisienne, la base d'avions de la Sécurité civile (BASC) de Marignane et le GH.

Le GH comprend un échelon central basé à Nîmes Garons, qui assure le commandement, la coordination et la mise en condition des moyens alloués aux bases. Son commandement s'exerce sur vingt-deux bases (sites permanents) et sur cinq détachements saisonniers, dont quatre situés en montagne.

#### *1.17.1.2 Hélicoptères en service*

Le GH met en œuvre trente et un BK117 C2, huit SA 316 Alouette 3 et cinq Ecureuil AS 350.

Le BK117 C2 est le dernier type d'hélicoptère mis en œuvre au GH. Les appareils ont été livrés au standard opérationnel entre avril 2002 et mai 2005. Ils cumulent environ 40 000 h de vol, les heures de vol par appareil s'échelonnant de 385 à 1800 h.

Le BK117 C2 est utilisé pour tous les types de mission (plaine, mer et montagne)<sup>39</sup>. L'Alouette 3 est utilisée principalement pour le secours en montagne. L'Ecureuil n'est pas utilisé pour le secours en montagne.

---

<sup>38</sup> Données établies en juin 2006.

<sup>39</sup> La gendarmerie nationale effectue également des missions de secours en haute montagne avec cet appareil. Quinze BK117 C2 ont été commandés par la DGGN, dont sept sont en service en juin 2006. La première livraison a eu lieu en novembre 2002. L'été, le secours en montagne à partir du poste de Gavarnie est réalisé en alternance (une semaine sur deux) par les appareils de la DGGN de Tarbes et les secouristes du PGHM de Pierrefitte-Nestalas, puis par les appareils de la base DDSC de Pau et les secouristes de la section montagne de la CRS 29 de Lannemezan.

### 1.17.1.3 Pool renfort montagne

En juin 2006, ce pool comporte trois pilotes<sup>40</sup> qui, sans être affectés en secteur montagne, y assurent des périodes de renfort. Le secteur montagne comprend alors les bases d'Annecy, Grenoble et Pau, ainsi que les détachements d'été de Chamonix<sup>41</sup>, Courchevel, de l'Alpe d'Huez et de Gavarnie.

Généralement, chaque pilote du pool participe aux renforts sur deux de ces bases.

Ils répartissent leur entraînement en montagne sur les bases dans lesquelles ils effectuent des périodes de renfort. Le volume minimal annuel de cet entraînement est de six heures de vol, sans différenciation par type de mission.

Les périodes de renfort durent typiquement de cinq à sept jours.

### 1.17.1.4 Limitations d'emploi du BK117 C2 au sein du GH, relatives à la masse maximale au décollage

Les limitations d'emploi (limitation de la masse maximale) préconisées par la DSA en mars 2004<sup>42</sup> et levées en octobre 2004<sup>43</sup> sont en vigueur au GH (sauf sur le détachement de Chamonix), soit :

*«... le SPAé préconise que le masse maximale autorisée au décollage, à l'atterrissage, et pour toutes opérations en stationnaire hors effet de sol, soit limitée à la plus faible des masses suivantes » :*

- 3585 kg ;
- la masse définie dans les courbes Plafond en vol stationnaire DES<sup>44</sup>/régime de décollage/composante vent de travers 17 kt, telles que définies au chapitre 5 du manuel de vol ;

---

<sup>40</sup> Y compris le pilote accidenté.

<sup>41</sup> Non armé en renfort.

<sup>42</sup> Acte technique n°058-04/SPAé/ST/AAé du 11 mars 2004.

<sup>43</sup> Acte technique n°285-04/SPAé/ST/AAé du 12 octobre 2004.

<sup>44</sup> DES : dans l'effet de sol.

- *la masse définie dans les courbes Plafond en vol stationnaire HES<sup>45</sup> avec 10% de marge de poussée RAC supplémentaire telles que définies dans les courbes transmises par ECD jointes.»*

## **1.18 Renseignements supplémentaires**

### ***1.18.1 Evènements survenus sur BK117 C2 dans la DDSC***

L'accident survenu le 20 juillet 2003 dans le massif de l'Arbizon, et l'incident survenu le 22 janvier 2004 au Pic de Balaïtous, sont présentés en annexe 3.

### ***1.18.2 Campagnes d'essais de manoeuvrabilité à haute altitude***

Les campagnes d'essais en vol menées par ECD, avec la participation du CEV, entre février et juillet 2004, sont présentées en annexe 4.

### ***1.18.3 Anomalies concernant la chaîne de lacet du BK117 C2 : cas rencontrés dans la DDSC, mesures prises ou en cours***

Ces anomalies sont présentées en annexe 5.

## **1.19 Techniques spécifiques d'enquête**

Néant.

---

<sup>45</sup> HES : hors effet de sol.

## **2 ANALYSE**

### **2.1 Préambule**

Avant leur mise en service, la DDSC avait fait le choix de ne pas équiper d'emblée ses appareils BK117 C2 d'enregistreurs de paramètres de vol. Suite à l'accident survenu en 2003, l'installation d'enregistreurs de maintenance a été décidée dans le cadre d'un « rétrofit » pour lequel le premier appareil modifié a été livré en octobre 2006. L'appareil n°9007 accidenté en juin 2006 n'était donc équipé d'aucun enregistreur de paramètres.

Le traumatisme crânien subi par le CRS rescapé a provoqué une amnésie ne lui permettant pas d'apporter dans son témoignage d'éléments relatifs à la phase du vol consécutive à sa récupération sur l'arête.

L'analyse s'appuie donc principalement :

- sur des témoignages visuels ;
- sur les constats réalisés sur le site de l'accident ;
- sur les résultats des expertises et études menées.

Sont d'abord présentés dans cette partie :

- la synthèse des témoignages recueillis ;
- l'analyse de la répartition des débris de l'épave et des traces constatées sur le relief ;
- l'analyse de la dernière phase du vol (phase préparatoire et d'exécution de la récupération du sac) ;
- les résultats des expertises et études menées ;
- l'analyse des performances théoriques de l'appareil lors du dernier stationnaire.

Puis les hypothèses des causes de l'évènement, et leurs facteurs contributifs, sont présentées.

Enfin, l'analyse des circonstances de la survie du CRS en cours de treuillage est présentée.

## 2.2 Témoignages

### 2.2.1 Positionnement des témoins

Quatorze personnes ont rapporté des témoignages concernant la phase du vol située entre la récupération du sac et la chute de l'appareil. Cinq d'entre elles n'ont vu que la chute finale de l'appareil.

Parmi les neuf autres témoins :

- sept sont situés entre 2 et 4 km de l'appareil, à vol d'oiseau, dont trois observent l'appareil au moyen de jumelles ;
- deux sont positionnés sur l'arête Nord-Ouest :
  - ⇒ une randonneuse est en cours d'escalade de l'arête et est située 30 à 35 m au-dessus de l'appareil, celui-ci étant sur sa droite ; elle est relativement accaparée par son escalade et regarde donc l'appareil par intermittence ;
  - ⇒ le chef de poste ayant participé à l'exercice de secours observe attentivement l'appareil à partir du moment où celui-ci revient vers la paroi après avoir treuillé à bord les deux CRS ; il est posté à environ 70 mètres au-dessus de l'appareil lors du dernier stationnaire.

### 2.2.2 Témoignage du chef de poste relatif au dernier stationnaire

De par sa position proche de l'appareil, son expérience aéronautique et l'attention avec laquelle il observe l'appareil, ce dernier témoignage est le plus valide et a été particulièrement étudié lors de cette enquête. Il est détaillé ci-dessous, en ce qui concerne la phase de vol relative à la récupération du sac.

Le chef de poste voit l'appareil se diriger vers la paroi et le perd de vue lorsqu'il réalise le stationnaire pour la récupération du sac, car l'appareil est masqué par un surplomb. L'appareil s'est présenté paroi à gauche, le nez orienté vers la paroi, vers le secteur Sud.

Le chef de poste perçoit alors des variations du bruit de l'appareil, qu'il interprète comme étant celles d'un appareil en déplacement. Il ne perçoit aucun bruit lui paraissant anormal.

Lorsque ce témoin récupère le visuel sur l'appareil, celui-ci lui paraît stable, et s'écarte lentement de la paroi en translation latérale, vers la droite de l'appareil. Le témoin aperçoit alors le CRS treuillé en cours de remontée, en possession du sac, à deux mètres du patin de l'hélicoptère. La vision de l'appareil qu'a ce témoin à ce moment est illustrée ci-dessous.



*Photo 12 : montage montrant la position de l'appareil vue par le chef de poste, juste avant le début des rotations en lacet*

Dans la continuité de cette translation latérale vers sa droite, l'appareil effectue alors au moins trois rotations autour de l'axe de lacet, dans le sens horaire, l'appareil étant vu du dessus. La première rotation est décrite comme lente<sup>46</sup>, puis le taux de rotation augmente. Il aperçoit lors de ces rotations le MOB et le CRS au câble qui sont centrifugés<sup>47</sup>.

Il rapporte que, lors des rotations, l'appareil perd de l'altitude sans chute brutale. Il rapporte également que l'hélicoptère tend à dériver vers sa droite en décrivant une

<sup>46</sup> Le taux estimé lors de cette première rotation, selon le témoignage du chef de poste, est de l'ordre de 70°/seconde.

<sup>47</sup> Le MOB est vu alors à l'extérieur de l'appareil, retenu par sa ligne de vie.



trajectoire en spirale. Puis l'appareil disparaît de son champ de vision. Il ne le voit pas heurter la paroi.

### ***2.2.3 Témoignage de la randonneuse***

Ce témoin est la seule à avoir vu distinctement le treuillage du CRS lors de la récupération du sac. Accaparée par son ascension, elle n'observe cependant pas l'appareil de façon continue. Elle rapporte ne pas avoir été surprise ou impressionnée par la proximité de l'appareil par rapport à la paroi.

### ***2.2.4 Conclusion sur les témoignages***

Les témoignages de ces neuf personnes permettent d'établir, concernant la dernière phase du vol, que :

- l'appareil s'éloigne puis revient depuis la vallée se positionner à proximité de la paroi, afin de procéder à la récupération du sac tombé le matin ;
- il y effectue un stationnaire durant lequel sa position change, la queue restant cependant orientée vers la vallée ;
- la durée de ce stationnaire n'est pas brève ;
- aucun témoin ne voit un des rotors ou une autre partie de l'appareil toucher la paroi lors de ce stationnaire ;
- l'appareil s'écarte de la paroi par une translation latérale vers sa droite ;
- il tourne ensuite rapidement autour de son axe de lacet, dans le sens horaire vu du dessus (trajectoire en spirale inclinée), avant d'heurter la paroi.

#### **Conclusion : témoignages**

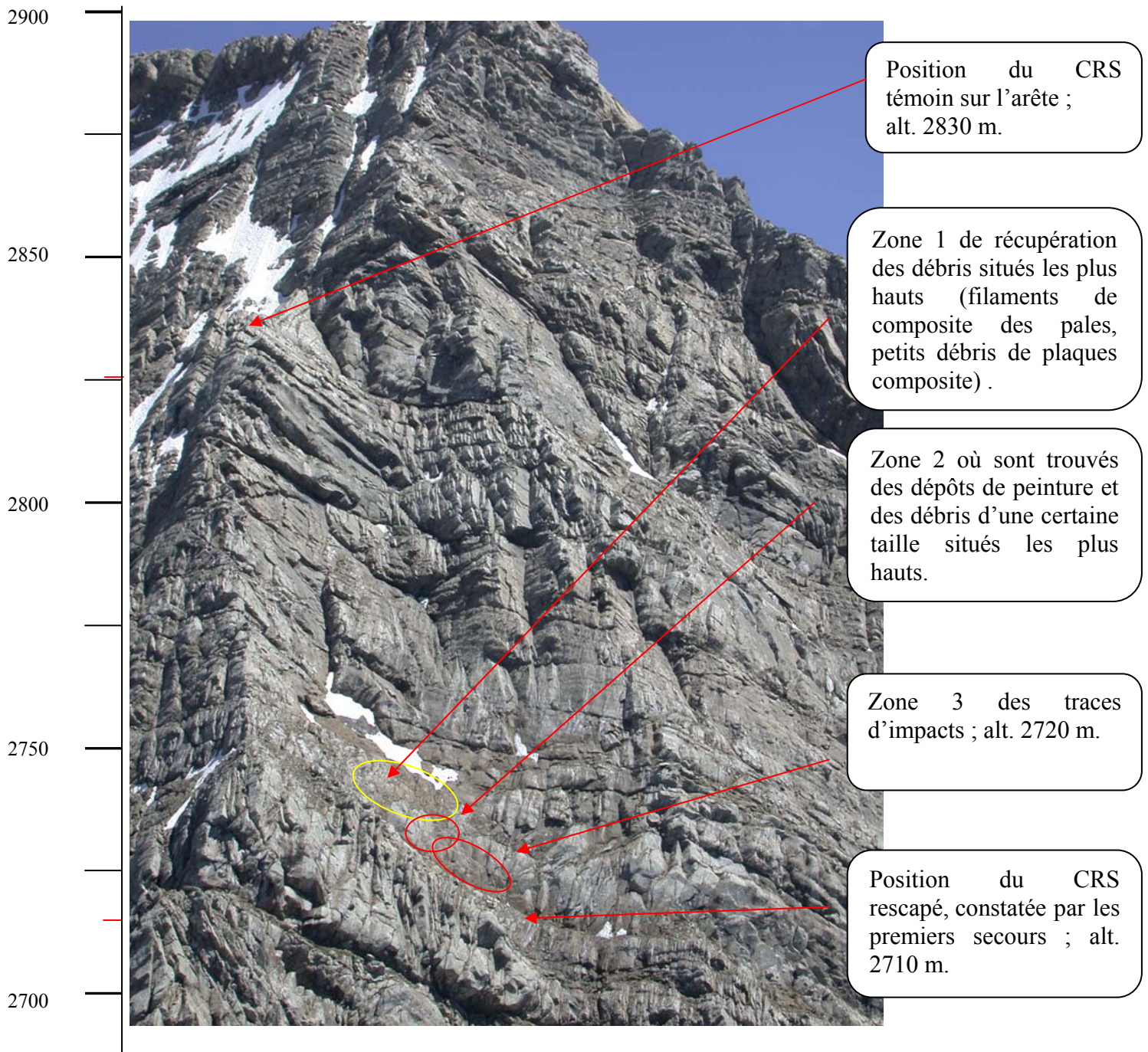
**L'analyse des témoignages montre qu'il y a eu, à un moment donné, une perte de contrôle en lacet, laissant s'établir une rotation très rapide dans le sens horaire.**

## **2.3 Analyse des témoignages et des constats faits dans la partie supérieure du site de l'accident**

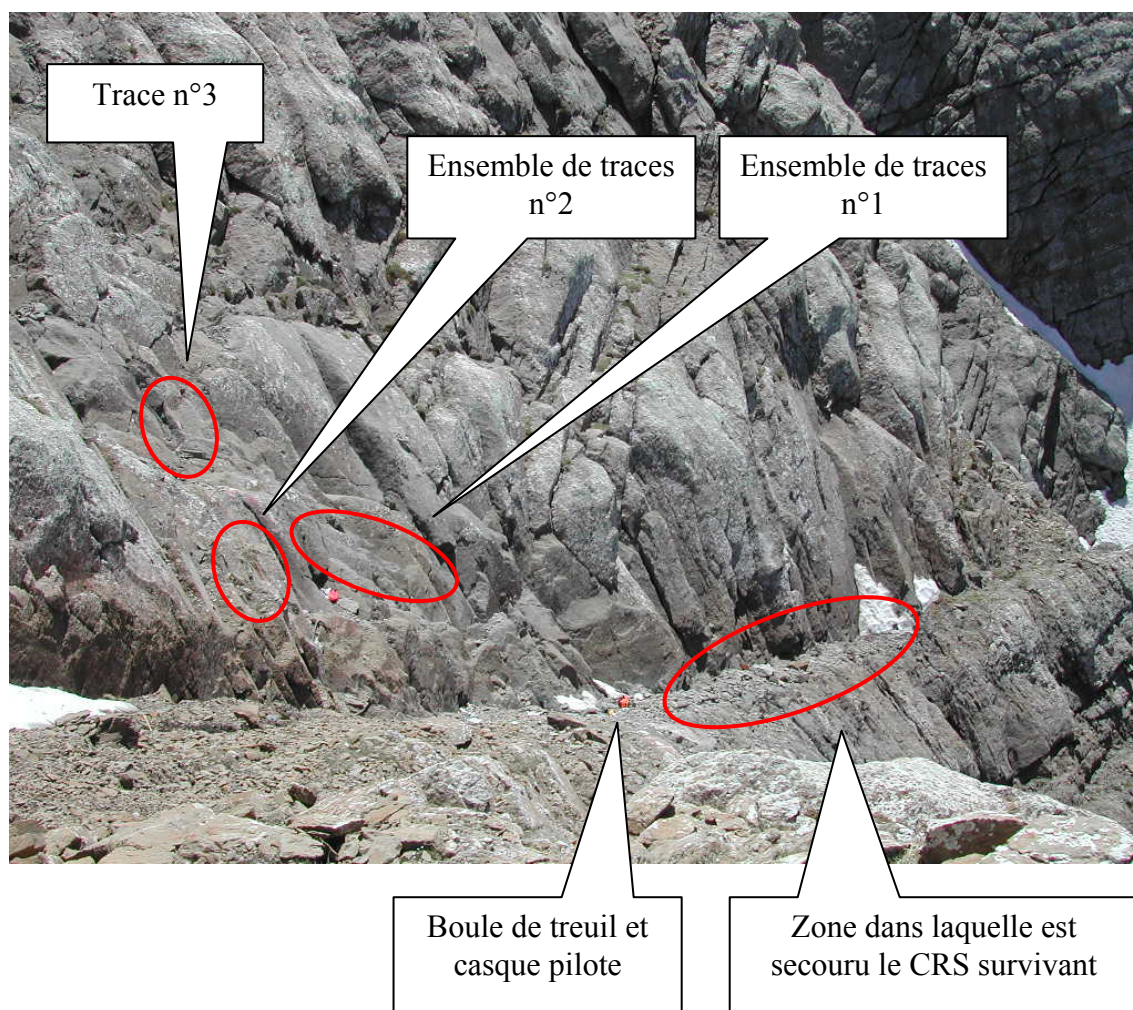
### ***2.3.1 Analyse de la répartition des débris et des traces d'impacts***

La photo ci-dessous positionne les divers constats réalisés à l'altitude la plus élevée (entre 2710 et 2730 m) :

- débris de l'épave situés le plus haut dans le relief ;
- traces relevées sur le relief ;
- position du CRS survivant (témoignage des premiers secours).



*Photo 13 : positionnement des différents constats faits dans la partie haute du site*



*Photo 14 : positionnement des différents constats : zoom sur la partie droite de la vire*

Concernant les traces sur le relief (zone 3), il est établi que :

- elles ont été laissées par l'impact ou le frottement d'une partie de l'appareil sur la roche (de la gauche en haut vers le bas à droite). Il n'a pas été formellement déterminé quelles parties de l'appareil étaient concernées<sup>48</sup> ;
- elles n'ont pu être provoquées par un appareil en cours de stationnaire, étant donné leurs inclinaisons ;
- elles résultent donc du premier impact important suite aux rotations en lacet.

<sup>48</sup> Il est probable qu'elles aient pour origine des contacts avec des parties métalliques (patin, marche-pied, plancher).

Les dépôts de peinture constatés attestent que la zone repérée 2 sur la photo 14 est la zone d'impact de l'appareil avec le relief la plus haute connue.

Aucune autre trace (ou dépôt) n'a été constatée plus haut dans le relief par le PGHM.

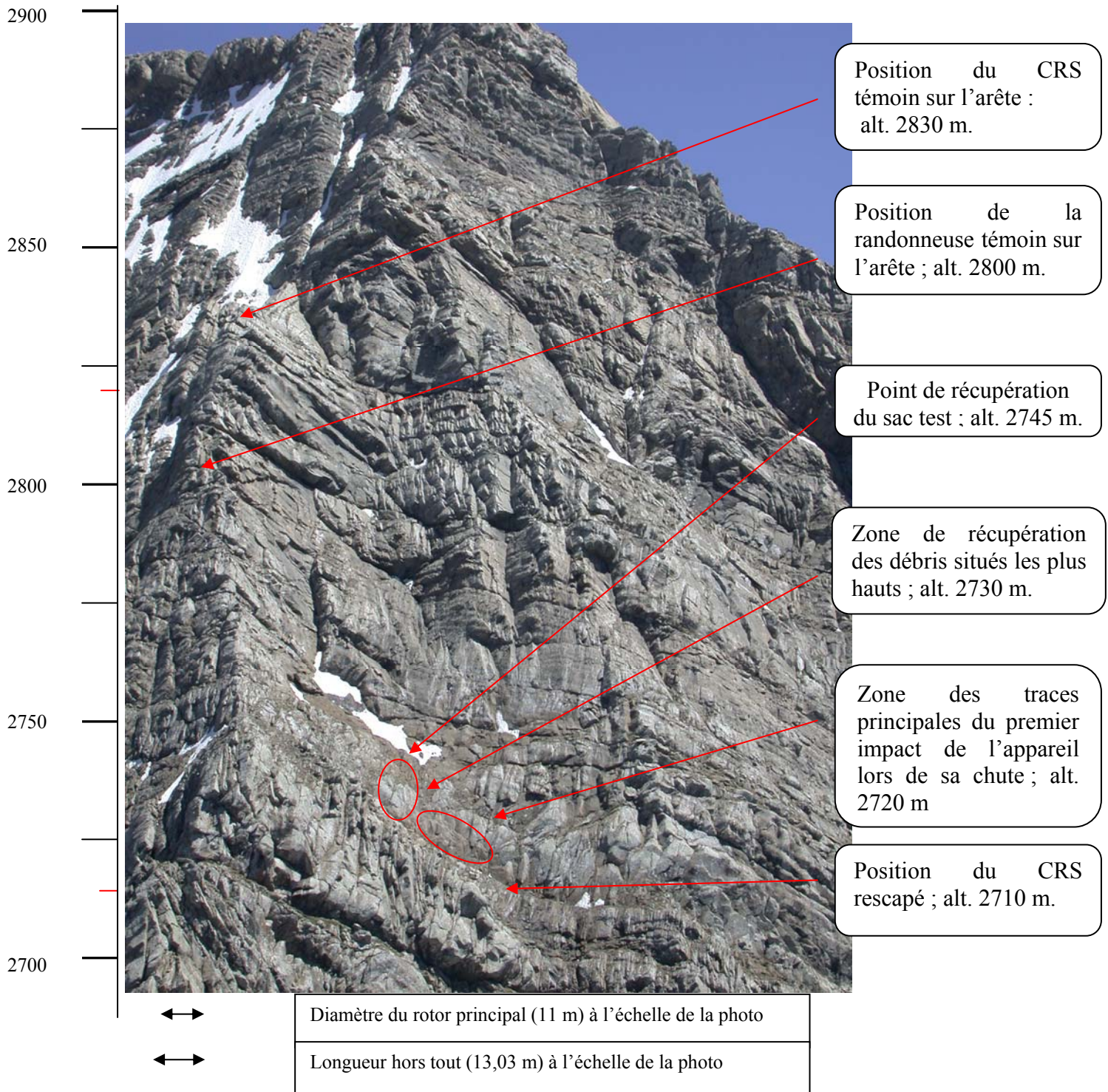
**Conclusion : analyse de la répartition des débris et des traces d'impacts**

- ❖ **Les impacts constatés à proximité et au-dessus de la vire se sont produits après les rotations en lacet ;**
- ❖ **aucun indice d'un contact de l'appareil avec le relief, antérieur aux rotations en lacet, n'a été identifié.**

**2.3.2 Estimation du positionnement de l'appareil lors du dernier stationnaire**

Sont reportés de haut en bas sur la photo ci-dessous :

- la position des témoins visuels situés sur l'arête (le chef de poste et la randonneuse) ;
- le point de récupération du sac de test ;
- la zone la plus haute dans laquelle des débris de l'appareil ont été retrouvés ;
- la zone dans laquelle les traces d'impact avec la paroi situées les plus hautes ont été constatées ;
- la position du CRS rescapé au moment de l'arrivée des premiers secours.



*Photo 15 : récapitulatif des données recueillies sur la partie haute du site de l'accident*

### *2.3.2.1 Estimation du positionnement du sac récupéré lors du dernier stationnaire*

Les deux témoins situés sur l'arête rapportent que le CRS détenait le sac lors de sa remontée au treuil. La position de ce sac avant qu'il ne soit récupéré n'est pas connue. Elle a été estimée à partir de la position du sac de test.

Les matériels provenant du sac, trouvés à deux mètres à droite et un mètre au-dessus du sac de test attestent que le sac se trouvait sur un axe vertical proche de quelques mètres de celui du sac de test.

La configuration de la paroi au-dessus de la position du sac de test, abrupte, permet de conclure que le sac n'a pas pu se stabiliser plus de quelques mètres au-dessus de la position du sac de test. La position des névés situés à proximité atteste de cela. En revanche, il a pu se stabiliser plus bas, le point extrême possible étant considéré comme étant la vire, sur un point situé environ vingt mètres plus bas. La position estimée du sac est donc matérialisée par le cercle rouge sur la photo n°16.

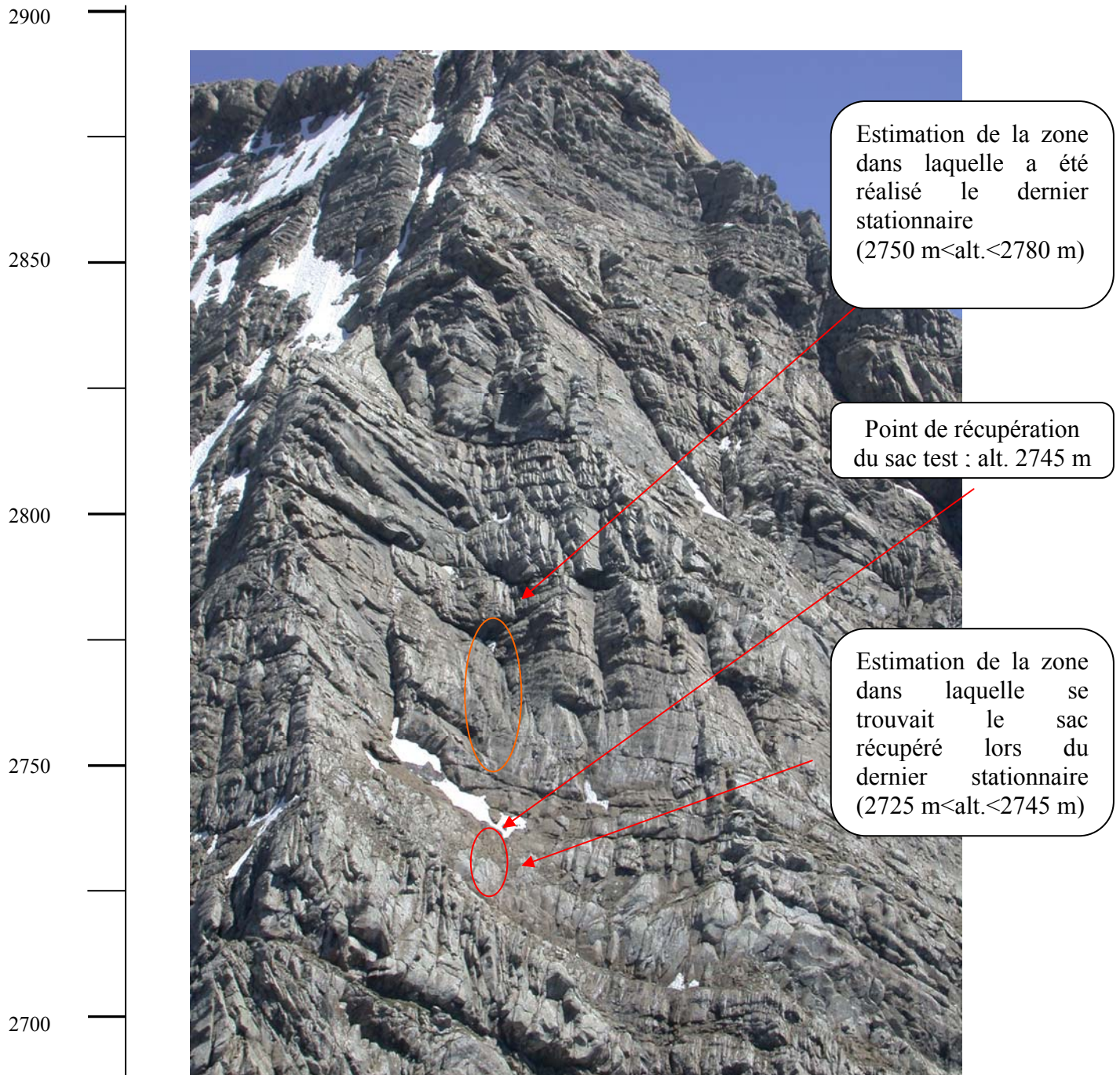
### *2.3.2.2 Estimation de la zone dans laquelle est réalisé le dernier stationnaire*

Aucun témoignage n'a permis d'établir si le CRS est resté accroché au crochet de treuillage ou si il a dû s'en détacher pour atteindre le sac, ceci signifiant que le stationnaire n'a pas été réalisé à la verticale du sac.

Il est cependant probable que le CRS ait été treuillé à proximité du sac et qu'en conséquence l'hélicoptère se soit stabilisé au-dessus ou à proximité de la zone définie au paragraphe précédent.

La longueur de câble utilisée n'est pas connue. Toutefois, étant donné la longueur habituellement utilisée pour ce type de travail, de l'ordre de trente mètres, et le témoignage de la randonneuse situant l'hélicoptère de vingt à trente mètres sous elle, la hauteur à laquelle a été réalisé le stationnaire a pu être estimée.

La zone dans laquelle est réalisé le dernier stationnaire est représentée par le cercle orange sur la photo n°16. Elle est située sensiblement au milieu d'un secteur de forme concave.



*Photo 16 : estimation de la zone dans laquelle a été réalisé le dernier stationnaire*

### 2.3.2.3 Estimation de l'orientation de l'hélicoptère par rapport à la paroi

Les témoignages sont concordants et permettent de situer l'hélicoptère, lorsqu'il réalise le dernier stationnaire, de  $\frac{3}{4}$  face à la paroi qui se trouve à sa gauche, la queue vers la vallée. Ceci est cohérent avec la disposition du lieu du treuillage et la position du treuil, installé à gauche.



Cette position est très similaire avec celle rapportée par le chef de poste lorsque l'appareil s'écarte de la paroi en translation latérale droite. Il est donc probable que, lors du stationnaire, l'appareil avait une orientation par rapport à la paroi telle que figurant sur la photo n°12 page 34, c'est-à-dire à environ 45° de la paroi, le côté gauche orienté vers la paroi.

#### *2.3.2.4 Estimation de la distance de l'hélicoptère à la paroi*

Le seul témoin ayant pu estimer la proximité de l'appareil par rapport à la paroi, de par sa proximité et son angle de vue par rapport à l'appareil, est la randonneuse située sur l'arête. Elle rapporte que l'appareil ne lui semble pas être proche de la paroi, sans être en mesure d'indiquer une valeur chiffrée.

Un secouriste ayant participé au test de lancé du sac et l'ayant récupéré a également pu estimer la proximité par rapport à la paroi d'un appareil qui aurait effectué un stationnaire à sa verticale<sup>49</sup> : il a estimé que la réalisation d'un tel stationnaire serait possible, l'extrémité des pales principales se trouvant alors à une vingtaine de mètres de la paroi<sup>50</sup>.

Un pilote de la DDSC a effectué trois stationnaires<sup>51</sup> au-dessus de la position du sac de test. Il rapporte que cette opération ne présente pas de difficulté particulière, notamment en ce qui concerne la proximité de la paroi, qui est estimée entre huit et quinze mètres du bout des pales. Il rapporte également qu'étant donné la configuration du site, une translation est la manœuvre initiale de dégagement appropriée, et non une rotation sur l'axe de lacet.

---

<sup>49</sup> En considérant une longueur de câble usuellement utilisée dans ce type d'environnement, c'est-à-dire de l'ordre de trente mètres.

<sup>50</sup> Une distance de l'ordre du mètre est considérée comme extrême par les professionnels consultés. Une distance de vingt mètres est fréquemment pratiquée. Aucune distance minimale ne figure dans les procédures traitant ce type de manœuvre.

<sup>51</sup> A une hauteur de l'ordre de trente mètres.

**Conclusion : estimation de la distance de l'hélicoptère à la paroi**

- ❖ **La distance de l'appareil par rapport à la paroi lors du dernier stationnaire n'est pas précisément connue ;**
- ❖ **cependant, des témoignages vont dans le sens d'une distance qui n'est pas faible au regard de la pratique du secours en montagne près d'une paroi (c'est à dire que cette distance n'est pas inférieure à cinq mètres).**

*2.3.2.5 Estimation de la durée du stationnaire*

La plupart des témoins indiquent que le stationnaire n'a pas été bref. Ils rapportent que l'hélicoptère a mis du temps pour se positionner, la queue oscillant de droite à gauche, « *en cherchant sa position* ».

Sachant que le temps minimal nécessaire au treuillage du CRS est de l'ordre de vingt à trente secondes, la durée cumulée du positionnement de l'appareil puis de l'exécution du treuillage a été estimée entre une et deux minutes.

**Conclusion : estimation de la durée du stationnaire**

**La durée cumulée du positionnement de l'appareil puis de l'exécution du treuillage (estimée entre 1 à 2 min) est plutôt longue au regard de la pratique du secours en montagne près d'une paroi.**

**2.4 Analyse de la dernière phase du vol (phase préparatoire et d'exécution de la récupération du sac)**

**2.4.1 Plans d'action des CRS et de l'équipage**

**2.4.1.1 Plan d'action du chef de poste**

Le plan d'action initial prévoyait la récupération et la descente à Gavarnie :

- du blessé fictif pris en charge par un autre CRS, dans le cadre de l'exercice de secours, l'accident ayant eu lieu lors de ce vol ;
- puis des trois autres CRS, dont le chef de poste.

Le chef de poste rapporte que, suite à la perte du sac, son intention, qu'il avait partagée avec ses collègues sur la paroi, était la récupération et la descente à Gavarnie :

- du blessé fictif pris en charge par un autre CRS ;
- puis des deux derniers CRS ;
- enfin lui-même aurait été treuillé et aurait procédé à la récupération du sac. Ce plan d'action nécessitait trois rotations entre Gavarnie et le sommet du Petit Astazou.

Il rapporte que la récupération du sac projeté n'a pas été évoquée lors des contacts qu'il a eu avec le pilote sur la radio tactique et lors de son appel par téléphone avant le dernier décollage de Gavarnie, et qu'il n'a donc pas fait état de cette réactualisation du plan d'action avec le pilote.

#### *2.4.1.2 Plan d'action de l'équipage*

Concernant le moment auquel le pilote est informé du fait qu'un sac a été projeté, deux hypothèses ont été étudiées :

- le MOB, alors en position de treuilliste à gauche, voit le sac le matin, au moment où celui-ci est projeté. Il en informe alors le pilote (il est peu probable que le pilote ait lui-même aperçu le sac, étant donné sa position en place droite) ;
- les CRS hélitreuillés à bord informent l'équipage de la perte du sac alors que l'appareil s'éloigne dans la vallée, quelques minutes avant l'accident. Ils ont alors également pu informer l'équipage du plan d'action envisagé par le chef de poste.

Le moment auquel le pilote prend la décision de procéder à la récupération du sac n'a pas pu être déterminé avec certitude. Cependant, des témoins rapportent que l'hélicoptère, après avoir récupéré les deux CRS, a pris une trajectoire descendante puis fait demi-tour alors qu'il se trouvait éloigné de la paroi<sup>52</sup>. Il est donc probable que cette décision ait été prise lors de cette branche retour vers Gavarnie.

---

<sup>52</sup> Le chef de poste rapporte que lorsque l'appareil fait demi-tour, il est situé aux environs de la pelouse d'altitude dite « la planette ». Cette pelouse est située à 2,5 km à vol d'oiseau au NW de la paroi, soit sur un axe globalement perpendiculaire à cette paroi. L'appareil s'est probablement éloigné d'une distance moindre, compte tenu d'une possible erreur de parallaxe.

Dans la deuxième hypothèse formulée ci-dessus, l'équipage aurait alors décidé d'anticiper la récupération du sac par rapport au plan d'action envisagé par les CRS. Cette décision aurait pu être motivée par la limitation du temps de vol nécessaire à la récupération des CRS et du sac, en conservant le même nombre de rotation prévu (2) entre le poste de secours et le Petit Astazou.

Les témoins rapportent que l'hélicoptère est revenu vers la paroi en suivant une trajectoire d'abord quasi-perpendiculaire, puis s'incurvant vers le sud, amenant l'appareil à positionner la paroi à sa gauche. Aucun passage de reconnaissance<sup>53</sup> n'a été effectué.

Il ne peut être déterminé quels éléments nécessaires à l'accomplissement du stationnaire étaient connus du pilote. Il est cependant peu probable que le pilote ait connu précisément la position du sac avant de rejoindre la paroi pour procéder à sa récupération. Ceci peut expliquer que, d'après certains témoins, l'appareil ait mis du temps à se positionner avant d'effectuer le stationnaire, « *la queue de l'appareil oscillant de droite à gauche* ».

Les raisons pour lesquelles aucun passage préalable n'a été réalisé ne sont pas connues. Il est possible que le pilote ait jugé qu'ayant réalisé trois stationnaires (avec six treuillages) depuis le matin sur l'arête, dont un stationnaire (avec un treuillage) quelques minutes auparavant, un passage sur une zone proche de l'arête n'était pas nécessaire. Il est également possible que le pilote ait été aussi préoccupé par l'autonomie restante à l'issue du retour à Pau<sup>54</sup> et qu'il ait donc voulu limiter le temps de vol consacré à la récupération du sac. Ces deux hypothèses ont pu simultanément contribuer à la décision du pilote de ne pas réaliser de passage.

---

<sup>53</sup> Cette procédure permet au pilote de recueillir les informations nécessaires à la prise de décision sur la poursuite de l'opération (posé ou stationnaire) et sur la détermination du mode opératoire (point de posé et son environnement, aérologie dans la zone, estimation de la puissance nécessaire, manœuvre de dégagement).

<sup>54</sup> L'autonomie restante après l'atterrissage à Pau a été estimée à 35 min.

**Conclusion : plan d'action de l'équipage**

- ❖ **Il est probable que le pilote ait pris la décision de procéder à la récupération du sac alors qu'il entamait le vol retour vers le poste de secours ;**
- ❖ **il est peu probable qu'il connaissait à ce moment la position exacte du sac.**
- ❖ **La décision du pilote de ne pas réaliser de passage de reconnaissance a pu être motivée :**
  - ▶▶ **par le fait que des stationnaires ont déjà réalisés dans une zone proche, le pilote estimant alors la faisabilité acquise,**
  - ▶▶ **par la gestion de l'autonomie restante à Pau en fin de mission.**

## 2.5 Synthèse des expertises

### Synthèse des expertises

#### Concernant les expertises mécaniques :

- ❖ aucun endommagement préalable de l'appareil susceptible d'avoir un lien avec l'évènement n'a été constaté ;
- ❖ Des indices de rotation et de transmission de puissance au rotor principal et au rotor arrière lors de l'impact ont été identifiés.

#### Concernant les analyses de fluides :

- ❖ les analyses de carburant (prélevé sur l'épave et dans la cuve d'avitaillement) et de fluide hydraulique (prélevé sur l'épave) n'ont révélé aucune anomalie.

#### Concernant les expertises des boîtiers électroniques :

- ❖ toutes les données contenues dans les mémoires exploitées sont valides ;
- ❖ aucun évènement n'est enregistré avant le temps 14 min 24,5 secondes, c'est-à-dire avant les premiers impacts de l'appareil après les rotations en lacet.
- ❖ En conséquence, aucun évènement (alarme, panne de système), susceptible d'avoir un lien avec la cause des rotations en lacet, ou susceptible d'apporter des informations sur les circonstances de ces rotations, n'a été enregistré.
- ❖ Le pilote automatique était connecté durant le dernier vol.

Les résultats des expertises menées sont complétés en annexe 6.

## **2.6 Analyse des performances théoriques de l'appareil lors du dernier stationnaire**

### ***2.6.1 Evaluation de la marge en masse***

Etant donné les incertitudes sur la masse de l'appareil, l'altitude de l'évènement et la température de l'air, la combinaison la plus défavorable de ces trois paramètres est prise en compte :

- masse : 3000 kg ;
- altitude de l'évènement : 2800 m ;
- altitude pression : 2745 m ( $\approx$  9000 ft) ;
- température : 10°C.

Etant donné la configuration du lieu de l'évènement, la performance HES est ici prise en compte.

A ces conditions, la masse maximale en stationnaire HES, avec 10% de marge de poussée rotor arrière supplémentaire, vent nul ou vent de face (limitation en vigueur à la DDSC<sup>55</sup>) est de 3230 kg.

#### **Conclusion : évaluation de la marge en masse**

**La marge en masse théorique par rapport à la limitation en vigueur à la DDSC est de 230 kg, dans les conditions de masse et d'altitude densité estimées lors du dernier stationnaire, vent nul ou vent de face.**

---

<sup>55</sup> Suivant les courbes annexées à l'acte technique n°058-04/SPAé/ST/AAé du 11 mars 2004.

### 2.6.2 Evaluation de la marge théorique de contrôle en lacet

Ce calcul a été mené par ECD avec différentes hypothèses de masse et d'altitude densité. La plus défavorable vis-à-vis de la marge de contrôle en lacet est retenue ici :

- Masse : 3000 kg ;
- Altitude pression : 2850 m ;
- température : 10°C.

Dans ces conditions, et sans vent :

- le couple juste nécessaire sur chaque moteur pour stabiliser le stationnaire<sup>56</sup> hors effet de sol (HES) est de 69% ;
- la marge de poussée du RAC est alors de 34%<sup>57</sup> ;
- la marge du RAC est encore positive si le couple maximal que peuvent fournir les GTM à l'altitude densité considérée est affiché<sup>58</sup>.

Dans les mêmes conditions, avec 17 kts de vent de la droite, le couple maximal que peut compenser le RAC est de 84%. Si le couple maximal disponible est affiché, une rotation en lacet a lieu, le palonnier étant en butée à gauche.

**Conclusion : calcul de la marge théorique de contrôle en lacet lors du dernier stationnaire**

**Dans les conditions de masse et d'altitude densité les plus défavorables estimées lors de l'évènement, et par vent nul, la marge théorique de contrôle en lacet est de l'ordre du tiers de la poussée maximale disponible.**

<sup>56</sup> L'appareil est alors supposé immobile sur les trois axes.

<sup>57</sup> C'est-à-dire environ le tiers de la poussée maximum du RAC à l'altitude densité considérée.

<sup>58</sup> 2 x 86%.



### ***2.6.3 Evolution de la marge théorique de contrôle en lacet dans le domaine de vol***

Dans la tranche d'altitude densité allant du sol à 3000 m (10000 ft)<sup>59</sup>, la masse maximale HES en bi-moteur est limitée par la masse maximale au décollage (jusqu'à 800 m) puis par le couple maximal supportable par la BTP (2x88%). Au-dessus de 3000 m, la masse maximale HES est limitée par le couple délivrable par les GTM, et diminue donc avec l'altitude.

La marge de contrôle en lacet est importante à basse altitude et diminue avec celle-ci jusqu'à environ 3000 m où elle devient minimale. Elle augmente faiblement au-delà d'environ 4600 m.

L'accident a eu lieu à une altitude densité comprise entre 2990 m (soit environ 9800 ft) et 3170 m (soit environ 10400 ft).

#### **Conclusion : évolution de la marge théorique dans le domaine de vol**

**L'accident s'est produit dans la tranche d'altitude où la marge théorique de contrôle en lacet est minimale.**

## **2.7 Analyse de l'expertise du pilote concernant l'activité de secours en montagne et sur BK117 C2**

### ***2.7.1 Eléments relatifs à la carrière du pilote dans l'ALAT***

- école de spécialisation : école de l'aviation légère de l'armée de terre (ESALAT) à Dax, en 1985 ;
- affecté au 1<sup>er</sup> RHC à Phalsbourg (1985-1994), puis à Pau (1994-2004), successivement au 4<sup>ème</sup> RHCM, au 5<sup>ème</sup> RHC et au DAOS ;
- appareils utilisés : 88 % des heures de vol ont été réalisées sur SA 330 Puma et SA 341-342 Gazelle ; les autres appareils utilisés sont l'Alouette 2 SA313-318, le Cougar AS 532, le Fennec AS 555 ;

<sup>59</sup> En atmosphère standard, à la puissance maximale au décollage.

- Qualifications : vol tactique, tir canon, appontage, IFR, instructeur combat-marine-JVN-aérocordage.

**Compte tenu des missions qu'il a réalisées dans l'ALAT, le pilote peut être considéré comme novice pour la mission de secours en montagne, à l'issue de sa carrière militaire.**

## **2.7.2 Expertise du pilote pour l'activité de secours en montagne et sur BK117 C2**

### *2.7.2.1 Eléments relatifs à la formation du pilote sur BK117 C2*

Le pilote a suivi au centre d'instruction de Nîmes, entre le 07 février et le 11 mars 2005, les formations prévues pour l'obtention de la qualification de type BK117 C2<sup>60</sup>.

Il a suivi une « adaptation mer » sur la base de La Rochelle, du 04 au 07 avril 2005, à l'issue de laquelle il a été déclaré apte aux missions mer sur BK117 C2<sup>61</sup>.

Il a suivi une instruction en vol nécessaire au maintien de sa qualification opérationnelle sur BK117 C2 (dénommée « recyclage » au sein de la DDSC), les 08 et 09 février 2006, sur la base de Pau.

### *2.7.2.2 Eléments relatifs à l'activité du pilote au sein du pool renfort montagne*

Peu après son arrivée à la DDSC, le pilote a obtenu en mars 2004 la qualification de type Alouette III. Il a suivi une « adaptation montagne » sur la base d'Annecy, du 27 au 29 mars 2004, et sur la base de Chamonix du 20 au 22 avril 2004, à l'issue de laquelle il a été autorisé à effectuer des renforts montagne sur Alouette III.

---

<sup>60</sup> 70 h de formation théorique et 15 h d'instruction en vol ont été réalisées lors de cette qualification.

<sup>61</sup> 9h20 de vol ont été réalisées lors de cette adaptation.

Le pilote a suivi la formation opérationnelle de base « montagne » sur BK117 C2<sup>62</sup> à partir de la base de Gavarnie, entre le 14 et le 17 juin puis le 26 juillet 2005, à l'issue de laquelle il a été déclaré apte à réaliser des renforts montagne sur BK117 C2<sup>63</sup>. Il détenait alors 95 h de vol sur BK117 C2, dont 22 en tant que CDB<sup>64</sup>.

Le pilote a ensuite volé uniquement sur BK117 C2. Au moment de l'évènement, le pilote était autorisé à assurer des périodes de renfort sur BK117 C2, sur les bases de Pau, d'Annecy et au détachement de Courchevel. La plupart ont été réalisées à Pau.

Il a effectué cinq périodes de renfort en secteur montagne entre août 2005 et juin 2006, représentant un total de 49 h de vol<sup>65</sup> dont 39 en tant que CDB. L'activité de secours en montagne réalisée durant ces cinq périodes est présentée dans les tableaux ci-dessous, en nombre de vols puis en heures de vol :

	Total vols		CDT de bord		2 <sup>ème</sup> pilote ou instruction	
	Montagne	Haute montagne	Montagne	Haute montagne	Montagne	Haute montagne
Total	15	2	15 <sup>66</sup>	1	0	1

	Total heures de vol		CDT de bord		2 <sup>ème</sup> pilote ou instruction	
	Montagne	Haute montagne	Montagne	Haute montagne	Montagne	Haute montagne
Total	15	3	15	2	0	1

Des treuillages ont été réalisés durant quatre de ces vols. L'activité de treuillage lors de ces missions de secours est la suivante, en nombre de treuillages :

<sup>62</sup> Obtention de la qualification secours-sauvetage-sécurité QSSS « PRO » UV3/4 montagne.

<sup>63</sup> 16,3 h de vol ont été réalisées lors de cette adaptation.

<sup>64</sup> CDB : commandant de bord.

<sup>65</sup> Ces cinq périodes représentent un total de 22 jours durant lesquels au moins un vol à été réalisé.

<sup>66</sup> Dont un vol d'entraînement d'une durée de deux heures, pendant lequel huit treuillages ont été réalisés.

	Total treuillages		CDT de bord		2 <sup>ème</sup> pilote ou instruction	
	Montagne	Haute montagne	Montagne	Haute montagne	Montagne	Haute montagne
Total	14	7	14	7	0	0

Le niveau d'entraînement minimum requis pour les pilotes intégrés au pool renfort montagne est de six heures par an dans les bases montagne<sup>67</sup>. Il s'agit d'un nombre d'heures global, sans différenciation en terme de type de mission.

**Conclusion : analyse de l'expertise du pilote dans la mission de secours en montagne sur BK117 C2**

- ❖ Depuis la formation montagne du pilote sur BK117 C2, réalisée un an avant l'évènement, son activité de secours en montagne est faible et discontinue ;
- ❖ son expertise pour cette mission est jugée faible par les experts du domaine ;
- ❖ le seuil minimal d'heures de vol requis sur les bases renfort, pour les pilotes intégrés au pool renfort montagne, ne garantit pas la réalisation d'une activité régulière et suffisante en regard de la technicité demandée pour la mission spécifique de secours en montagne.

<sup>67</sup> GHSC/CPEC : maintien des compétences, fiche 6, vol en haute montagne.

## 2.8 Énoncé des hypothèses relatives aux causes de l'évènement

Les différentes hypothèses étudiées sont les suivantes :

- une chute de pierre(s), endommageant le RAC ou le rotor principal ;
- une collision initiale de l'appareil avec la paroi :
  - ⇒ à l'arrière de l'appareil, au niveau des pales du RAC, ou au niveau de l'empennage ;
  - ⇒ ou au niveau des pales du rotor principal.
- une avarie majeure d'un système, endogène à l'appareil, menant à une perte partielle ou totale de la traction disponible du RAC ;
- l'atteinte de la limite d'efficacité du RAC<sup>68</sup> ;
- une déficience physiologique du pilote.

## 2.9 Hypothèse : une chute de pierre est à l'origine de l'évènement

Il est envisagé une chute de pierre(s) qui endommage, lors du stationnaire ou lors de la manœuvre de dégagement :

- les pales du RAC, la poussée du RAC disponible étant alors diminuée au point d'entraîner la perte de contrôle en lacet,
- ou les pales du rotor principal, l'augmentation de traînée créée ayant pour conséquence d'augmenter le couple nécessaire au stationnaire<sup>69</sup> ;

Lors de cet accident, plusieurs facteurs sont favorables à la libération de pierres et à leur impact sur l'appareil :

- la structure de la paroi, dont se détachent des pierres de façon récurrente, comme l'atteste notamment l'important pierrier situé en contrebas ;

---

<sup>68</sup> Dans cette hypothèse, le pilote n'est plus en mesure, à un moment donné, d'empêcher ou d'arrêter uniquement par une action aux palonniers, une rotation à droite.

<sup>69</sup> Dans cette hypothèse, la gestion de l'augmentation de couple par le pilote, et/ou l'augmentation en elle-même (atteinte de la limite d'efficacité du RAC) mènent ensuite à l'accident.

- la période en cours, de fin de fonte des névés, favorable à la libération de pierres rendues instables ;
- le surplomb présent au-dessus de la zone dans laquelle est réalisé le stationnaire, rendant d'une part l'appareil vulnérable à ce risque et susceptible d'autre part de projeter une pierre loin de la paroi par rebond ;
- le temps d'exposition au risque résultant de la durée estimée du stationnaire (entre une et deux minutes).

Ces éléments vont donc dans le sens d'une augmentation du niveau de risque lié à la chute de pierres et à l'impact sur l'appareil par rapport à un niveau moyen souvent présent dans ce type d'opération en montagne.

La probabilité qu'une pierre, ayant une trajectoire verticale, impacte le disque RAC est faible car la surface offerte est très limitée<sup>70</sup>. Cette probabilité augmente néanmoins en envisageant qu'un effet de rebond donne une composante horizontale à la trajectoire de la pierre. La probabilité qu'une pierre libérée au-dessus de l'appareil impacte le rotor principal est en revanche élevée.

Les expertises ne permettent pas de différencier d'éventuels dommages dus à une pierre sur les pales du RAC ou du rotor principal, ou sur une autre partie de l'appareil, de ceux dus aux impacts avec la paroi consécutifs aux rotations.

Bien qu'aucun des témoins présents sur l'arête n'ait aperçu de chute de pierre, cette hypothèse ne peut être écartée.

**L'hypothèse qu'une chute de pierre(s) soit à l'origine de l'évènement est POSSIBLE.**

---

<sup>70</sup> A la connaissance du groupe d'enquête, le nombre de retours d'expériences d'impacts de pierres sur le rotor principal est non négligeable. Celui concernant un impact sur les pales RAC est quasiment nul.

## **2.10 Hypothèse : une collision des pales du RAC ou du plan vertical gauche de l'empennage avec la paroi est à l'origine de l'évènement**

Cette hypothèse envisage soit un impact des pales du RAC, soit un impact du plan vertical gauche provoquant l'endommagement de ces pales.

L'expertise des pales RAC n'a pas permis d'apporter d'élément probant dans le cadre de cette hypothèse.

La position de l'appareil par rapport à la paroi lors du treuillage est estimée au chapitre 2.3.2 p53, à partir des témoignages, qui sont concordants sur ce point. La paroi est à gauche de l'appareil et la poutre de queue est orientée vers la vallée.

Ce positionnement est jugé plausible et adéquat par les professionnels. L'appareil est ensuite vu s'éloigner en translation vers la droite puis la rotation en lacet a lieu.

Ce positionnement de l'appareil et cette trajectoire ne permettent pas d'envisager une collision des pales de RAC ou du plan vertical gauche. La zone de forme concave n'est également pas assez étroite pour l'envisager.

D'autre part, aucun débris significatif de pales ou de plan vertical n'a été trouvé sous la zone estimée de réalisation du stationnaire. De tels débris sont trouvés plus bas, juste au-dessus de la vire, où s'est produit le premier impact suite à la perte de contrôle.

Aucune trace d'impact de pales n'a été trouvée au droit de la zone estimée de réalisation du stationnaire, c'est-à-dire plus haut que les traces d'impact trouvées juste au-dessus de la vire.

**L'hypothèse qu'une collision des pales du RAC ou du plan vertical gauche de l'empennage soit à l'origine de l'évènement est REJETÉE.**

## **2.11 Hypothèse : une collision des pales du rotor principal avec la paroi est à l'origine de l'évènement**

Le lien entre l'endommagement des pales principales et la perte de contrôle en lacet est alors similaire à celui décrit dans l'hypothèse d'une chute de pierre.

Les importants endommagements constatés sur les pales principales sont caractéristiques d'un contact de celles-ci avec un obstacle rigide (choc dur), à grande vitesse de rotation. Ces endommagements ne se sont pas produits avant la perte de contrôle en lacet car l'appareil est vu par le chef de poste en translation sans perte importante d'altitude.

Ils sont donc une conséquence de l'évènement, et se sont vraisemblablement produits dès le premier impact de l'appareil.

Il n'a pas été possible de différencier lors de cette expertise un impact « léger » des pales antérieur à celui ayant provoqué ces forts endommagements.

L'orientation de l'appareil par rapport à la paroi rend possible un touché des pales principales.

Cependant, le scénario ci-dessus n'est pas en phase avec le témoignage du chef de poste. Celui-ci, lorsqu'il récupère le visuel de l'appareil, décrit celui-ci en translation vers la droite, sans perte d'altitude, sans variation brusque d'attitude. Il indique que l'apparence globale de l'appareil est normale, le disque rotor n'attire pas son attention. Il ne perçoit pas de bruit particulier pouvant révéler des variations de régime.

D'autre part, aucun débris significatif de pales n'a été trouvé sous la zone estimée de réalisation du stationnaire. De tels débris sont trouvés plus bas, juste au-dessus de la vire, où s'est produit le premier impact suite à la perte de contrôle.

Aucune trace d'impact de pales n'a été trouvée au droit de la zone estimée du stationnaire, c'est-à-dire plus haut que les traces d'impact trouvées juste au-dessus de la vire.

**L'hypothèse qu'une collision des pales du rotor principal soit à l'origine de l'évènement est REJETÉE.**



## 2.12 Hypothèse : une avarie technique est à l'origine de l'évènement

Les expertises mécaniques n'ont révélé aucun endommagement préalable de l'appareil susceptible d'avoir un lien avec l'évènement. Notamment :

- la chaîne de commande en lacet et la chaîne de transmission de puissance au RAC étaient intègres ;
- les GTM fournissaient de la puissance ;
- la chaîne de transmission principale était intègre.

Aucune panne de système, susceptible d'avoir un lien avec la cause de l'évènement, n'a été enregistrée avant la perte de contrôle en lacet.

**L'hypothèse qu'une avarie technique soit à l'origine de l'évènement est REJETÉE.**

## 2.13 Hypothèse : l'atteinte de la limite d'efficacité du RAC est à l'origine de l'évènement

Dans cette hypothèse, le pilote n'est plus en mesure, à un moment donné, d'empêcher ou d'arrêter uniquement par une action aux palonniers une rotation en lacet à droite.

La marge théorique de contrôle en lacet calculée au chapitre 2.6 p63 est importante (1/3 de la poussée disponible à l'altitude densité considérée).

Cette marge théorique peut cependant être consommée si la poussée RAC nécessaire pour contrôler l'appareil sur l'axe de lacet augmente par le cumul des effets :

- d'une demande de puissance élevée<sup>71</sup> (effet du couple de renversement) ;
- d'une composante de vent venant de la droite (vent météorologique et/ou vent relatif lors d'une translation à droite) ;
- d'une rotation en lacet installée (effet d'inertie).

---

<sup>71</sup> C'est-à-dire ici significativement supérieure à la puissance nécessaire pour tenir le stationnaire.

La poussée RAC nécessaire, c'est-à-dire la somme des effets du couple de renversement, des forces aérodynamiques et des forces d'inertie sur l'axe de lacet, peut alors être supérieure à la poussée RAC disponible.

### ***2.13.1 Étude de la contribution d'une demande de puissance élevée***

#### *2.13.1.1 Estimation de l'aérologie locale*

La problématique de la connaissance de l'aérologie locale est caractéristique du milieu montagne : bien que des principes généraux puissent être identifiés, les conditions présentes dans un lieu donné peuvent être variables. L'aérologie subie par l'appareil au moment de l'évènement ne peut donc être déterminée précisément.

Compte tenu de la position de l'appareil, de la configuration de la paroi, des conditions météorologiques générales, enfin de la date et de l'heure de l'évènement, plusieurs phénomènes peuvent cependant être envisagés.

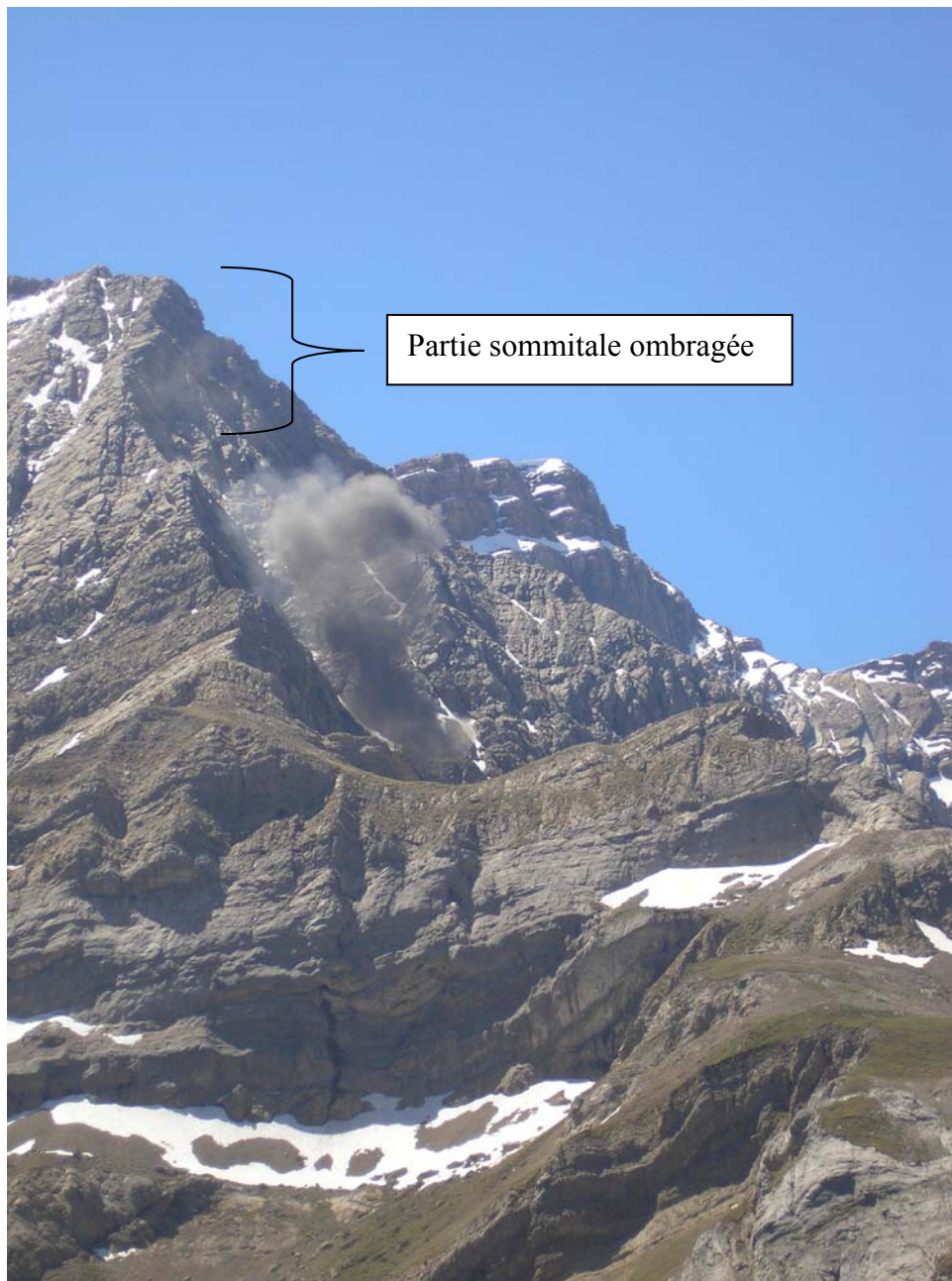
#### Effet thermique : établissement d'une brise de pente et de thermiques

Au moment de l'évènement, le soleil est haut dans le ciel et au cap d'environ 120°<sup>72</sup>. Il se trouve derrière la face Nord-ouest, vue depuis Gavarnie. Cette face présente donc des zones éclairées dans sa partie basse et des zones d'ombre dans les zones les plus pentues, dont la partie sommitale (voir photo n°3 ci-dessous). L'intensité du rayonnement solaire, à cette période de l'année et à cette heure, et ces différences d'éclairement créent les conditions pour l'établissement d'une brise de pente remontant la paroi.

Des photos ont été prises par un randonneur peu après l'évènement, depuis un point situé au Nord du Petit Astazou. L'une d'elles montre des volutes de fumée remontant le long de la face Ouest, et semble attester d'une brise de pente et/ou de thermiques.

---

<sup>72</sup> La hauteur du soleil est alors de 60° (la hauteur maximale atteinte à midi est de 68°).



*Photo 17 : fumée provenant de l'épave et remontant le pente*

L'important pierrier situé à la base de la paroi concernée est favorable à l'établissement de thermiques.

### Effet dynamique : conflit de masses d'air, turbulences

Plusieurs paramètres sont favorables à la présence de turbulences :

- la paroi est irrégulière (présence de nombreux surplombs) ; ceci est favorable à la création de turbulences locales dans le flux montant ;
- l'évènement a lieu à proximité d'une arête : ceci est favorable à la présence de turbulences dues à la confrontation des brises de pente issues des deux versants ;
- l'appareil se trouve au moment de l'évènement sous le vent de l'arête Nord-ouest (le flux général est de Nord) ; ceci est favorable à la présence de turbulences. Même si dans le cas présent le vent est faible (maximum 10 kts), une contribution de cet effet ne peut être écartée ;
- l'interaction des deux mouvements de masses d'air (brise de pente et vent météorologique) peut également créer des turbulences (effet de cisaillement).

Il est probable que ce dernier phénomène n'ait été subi qu'à une certaine distance de la paroi, l'arête faisant obstacle au vent météorologique. L'appareil aurait donc été exposé à ce phénomène lors de la translation l'écartant de la paroi.

### Témoignage du pilote de l'hélicoptère ayant réalisé les premiers secours

Un BK117 C2 du détachement aérien de gendarmerie (DAG) de Tarbes est arrivé sur les lieux environ 45 min après l'évènement. Il a réalisé des stationnaires dans une zone très proche de celle où l'appareil accidenté a réalisé son dernier stationnaire<sup>73</sup>.

Le pilote rapporte que cette zone est sous le vent de l'arête, et légèrement instable, avec une dynamique non négligeable. Il indique que l'exécution du stationnaire, sans être critique, nécessite la « tenue aux pieds » de l'appareil en conséquence d'une aérologie perturbée.

Il rapporte d'autre part un vent d'une dizaine de nœuds du Nord-est<sup>74</sup> et une température de 9°C dans cette zone.

---

<sup>73</sup> Cette zone où ont été réalisés des stationnaires pour treuillages du personnel médical (au-dessus de la vire) est proche de la zone d'évolution de l'appareil accidenté lors de la manœuvre de dégagement.

<sup>74</sup> Vent hors relief, calculé par le système de navigation de l'appareil.

### Conclusion : estimation de l'aérogologie locale

- ❖ Il est possible qu'une aérogologie défavorable, notamment des turbulences et des rabattants, ait été subie lors du dernier stationnaire et/ou lors du dégageant ;
- ❖ il est probable que l'aérogologie ait été différente lors du stationnaire et lors du dégageant.

#### *2.13.2 Facteurs explicatifs d'une demande de puissance supérieure à la puissance théorique nécessaire pour tenir le stationnaire*

Une augmentation de puissance a été nécessaire lors du déjaugeage du CRS. Cependant, cette augmentation est relativement faible et n'a pas de lien direct avec l'évènement puisqu'elle est réalisée bien avant le début de la rotation en lacet.

Le pilote, confronté aux phénomènes aérogologiques décrits ci-dessus, a pu devoir contrer des tendances à l'enfoncement de l'appareil par une application de pas général.

Ces phénomènes aérogologiques sont très localisés et variables dans le temps. De ce fait, le passage de reconnaissance permet non pas de les identifier précisément, mais de les évaluer et de les prendre en compte en s'assurant qu'une marge en terme de performance de l'appareil est disponible pour permettre la réalisation du stationnaire prévu. L'absence de passage n'aurait alors pas permis au pilote d'être alerté sur des conditions aérogologiques défavorables le long de cette pente.

D'autre part, le pilote a pu surestimer la marge de puissance disponible :

- étant donnée la masse plutôt faible de l'appareil,
- suite aux stationnaires réalisés dans une zone proche, et durant lesquels une marge a pu être constatée.

Dans une situation dynamique, des actions mal dosées au pas général peuvent provoquer l'affichage en transitoire d'une puissance significativement supérieure à la puissance minimale théorique. La faible expérience du pilote sur BK117 C2 a pu contribuer à un tel surdosage.

La translation à droite effectuée pour s'écarter de la paroi a probablement été réalisée à altitude constante et a donc en elle-même nécessité un surplus de puissance, par l'effet de l'inclinaison de la portance du rotor principal.

**Conclusion : étude de la contribution d'une demande de puissance élevée**

**Il est possible que, lors du dégagement, la puissance affichée ait été significativement supérieure à la puissance minimale théorique, sous les effets :**

- ❖ **de tendances à l'enfoncement de l'appareil, provoquées par une aérologie défavorable :**
- ❖ **d'un surdosage de la commande de pas général :**
- ❖ **de la trajectoire de dégagement utilisée (translation à droite).**

**Le pilote a pu surestimer la marge de puissance disponible.**

**La faible expérience du pilote sur BK117 C2 a pu contribuer à un surdosage au pas général.**

***2.13.3 Etude de la contribution du vent relatif***

Lors du stationnaire (treuillage du CRS), il est probable que l'appareil ait été abrité du vent par l'arête Nord-ouest, comme schématisé ci-dessous.

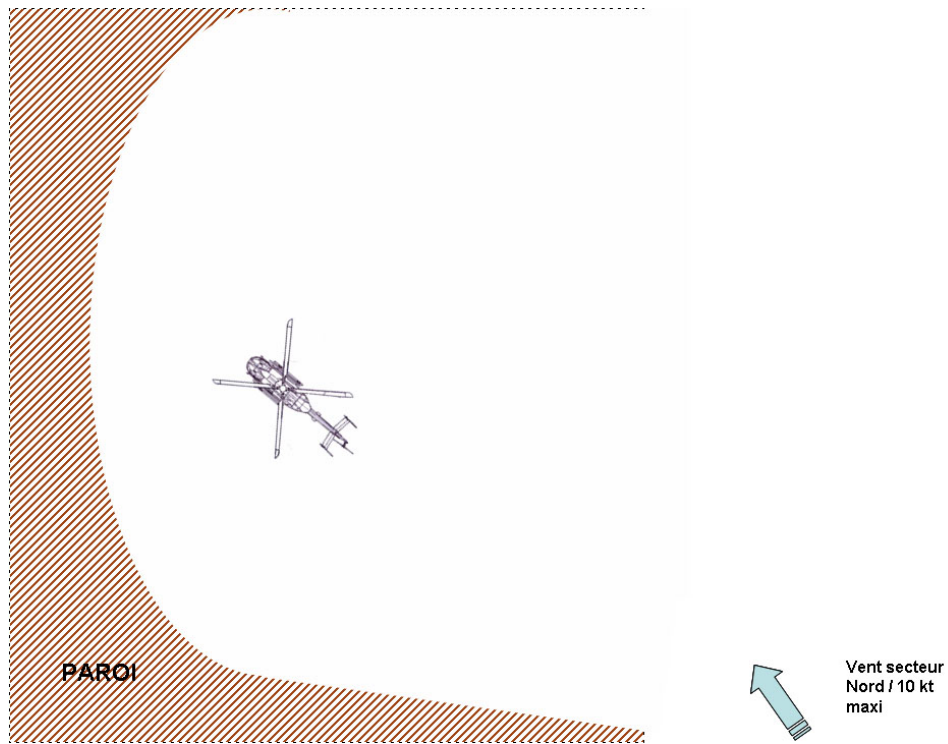


Figure 1 : position de l'appareil lors du stationnaire

Ensuite, la translation réalisée lors du dégagement crée une composante de vent relatif venant de la droite. La vitesse de déplacement n'est pas connue.

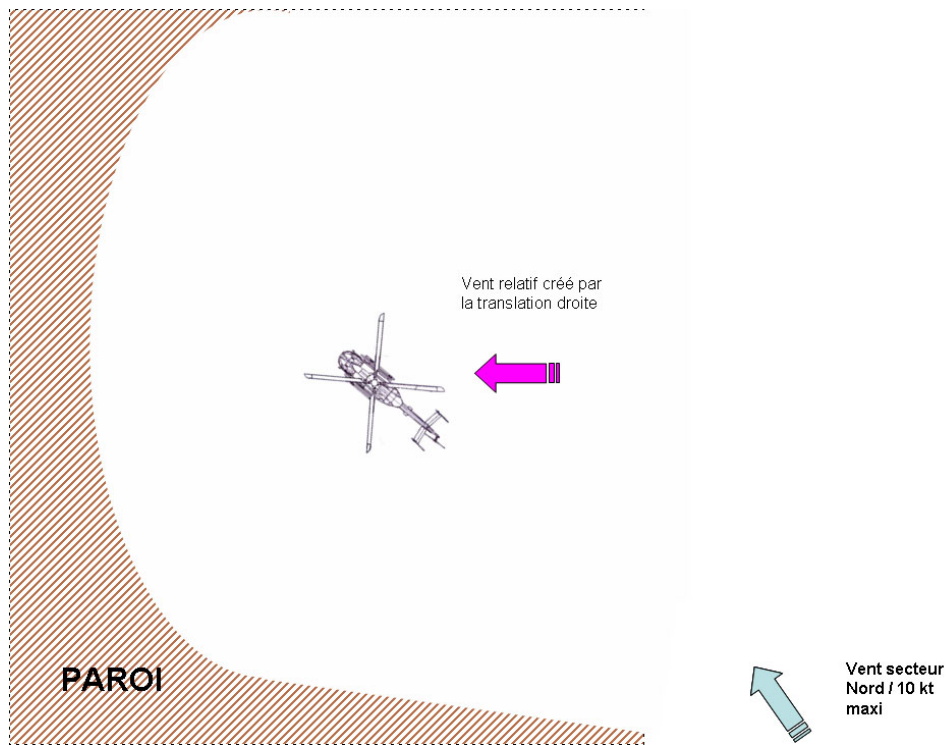
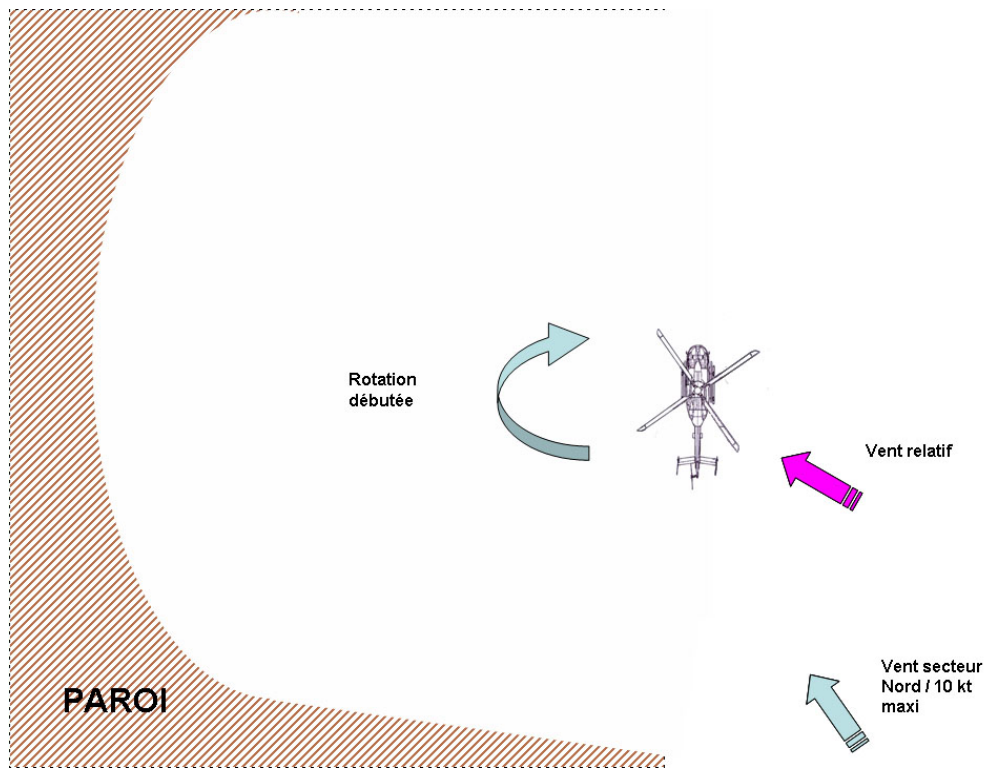


Figure 2 : vent relatif subi lors de la translation

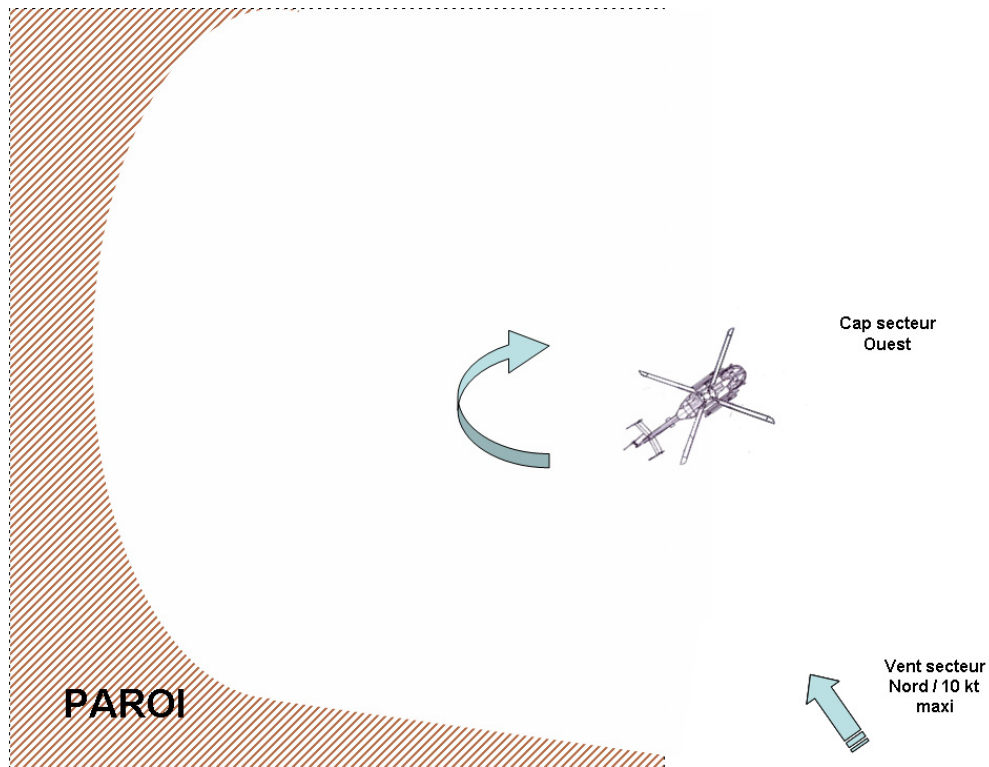
Lors de cette translation, il est possible que l'appareil ait atteint et dépassé un point à partir duquel il se trouve exposé à un vent arrière. D'après les témoignages, il n'y a pas d'arrêt net de la translation avant que l'appareil ne commence à tourner sur lui-même. Il est donc possible, que durant cette phase, les deux composantes de vent (vent relatif créé par la translation, vent météorologique subi) se soient combinées et aient contribué à l'accélération du taux de rotation.



*Figure 3 : vent relatif subi au début de la rotation*

Ensuite, l'effet du vent météorologique devient de plus en plus défavorable avec l'angle au vent (effet girouette). Il atteint un maximum lorsque l'appareil se retrouve dans le secteur faisant face à la vallée, au cap secteur ouest, après environ 90° de rotation.





*Figure 4 : effet maximal du vent météorologique après environ 90° de rotation*

**Conclusion : étude de la contribution du vent relatif**

**L'appareil a pu subir lors de la manœuvre de dégagement un vent relatif du secteur arrière droit, qui a contribué à l'atteinte de la limite d'efficacité du RAC.**

**2.13.4 Contribution d'une inertie de rotation en lacet**

Si une rotation en lacet s'installe, une plus grande marge au pied sera nécessaire pour arrêter cette rotation<sup>75</sup>.

<sup>75</sup> Lors des essais de manoeuvrabilité en lacet avec vent de la droite, un stationnaire HES avec 12 kts de vent de la droite a été réalisé à proximité des limites du domaine de vol : environ 20% de pédale à gauche au-delà de la position d'équilibre ont été nécessaires pour contrer une rotation à droite au taux de 28°/s (valeur proche de la limite du manuel de vol, de 30°/s pour une masse supérieure à 3200 kg).

Les campagnes d'essai en vol ont confirmé « *qu'il ne faut pas laisser s'établir de vitesse angulaire de lacet, en particulier lorsque la marge de commande initiale est faible (forte masse, haute altitude, vent de la droite). Tout départ doit être contré immédiatement par application de pédale maintenue jusqu'à la butée si nécessaire* ».

Il n'a pas pu être déterminé si le départ en rotation en lacet à droite est subi ou commandé par le pilote. Ces deux scénarii peuvent mener à l'installation d'une inertie en lacet. Quel que soit le scénario, l'occurrence d'une action trop lente et/ou incomplète aux palonniers a pu également laisser s'accroître la vitesse de rotation.

#### 2.13.4.1 *Le départ en rotation est subi*

Plusieurs situations possibles ont été envisagées :

- le pilote, n'ayant pas conscience de la proximité de la butée de pied, subit un effet de surprise qui induit un délai d'action aux palonniers ;
- le pilote, voulant enclencher une rotation à droite pour dégager, a l'impression qu'il commande la rotation alors qu'elle résulte d'un déficit d'action aux palonniers ;
- le pilote a involontairement provoqué le passage en mode *feet-on* du pilote automatique par une action aux palonniers ; n'ayant pas identifié ce changement de mode *feet-off* >>*feet on*, il laisse alors s'installer une rotation (ce phénomène est décrit en annexe 5).

#### 2.13.4.2 *Le départ en rotation est commandé*

Dans cette hypothèse, le pilote va ressentir la proximité de la butée de pied, ou la butée elle-même, plus tardivement que dans le cas d'un départ en rotation subi. Ce délai favorise l'installation d'une inertie plus importante. De plus, il diminue le temps entre le moment où le pilote veut diminuer la cadence ou la stopper et celui où l'appareil arrive dans le secteur faisant face à la vallée, c'est-à-dire au moment où peut être effectuée une manoeuvre de sauvegarde.

Pour cette raison, cette hypothèse d'un départ piloté et non subi est la plus probable.

#### 2.13.4.3 Analyse de l'hypothèse de la rencontre d'efforts aux palonniers, ayant pu contribuer à l'occurrence d'une action incomplète aux palonniers

Comme décrit en annexe 5.1, des efforts aux palonniers sont susceptibles de se produire à haute altitude sur tous les appareils non rétrofités « diminution des efforts aux pédales », en cas de sollicitation rapide de la servocommande (« coup de pied »). C'est le cas de l'appareil 9007.

La contribution d'un effet de friction des paliers téflon des pales de RAC n'est en revanche pas envisageable étant donné le nombre d'heures de l'appareil. Ceci a été confirmé par l'examen de l'arbre au niveau de ces paliers (absence de dépôt de téflon).

Il apparaît que ce phénomène est connu des équipages depuis 2004. Cependant, il est possible que le pilote ait été confronté à cette « fausse butée » de pied, et que, par effet de surprise, et en situation de stress alors que la rotation perdure, son action à contre au palonnier ait donc été incomplète. Il n'a pas pu être déterminé s'il a été auparavant confronté à ce phénomène. Cependant, il n'a pas émis de fiche d'anomalie en ce sens<sup>76</sup>.

Comme démontré lors des essais en vol, un pilotage au pied « agressif » peut contribuer à l'occurrence de ces efforts.

#### 2.13.4.4 Analyse de l'influence de l'interface homme-machine concernant le pilotage aux pieds de l'appareil sous pilote automatique à basse vitesse

L'expertise des modules pilote automatique a montré que le PA était enclenché. Cette expertise n'a pas permis de déterminer si la fonction d'auto-trim lacet était activée (*Yaw auto-trim On*). Cependant, s'agissant de l'état normal d'activation du PA et de la procédure utilisée à la DDSC, il est probable que cette fonction était activée.

Des difficultés (explicitées en annexe 5.2) ont été rapportées par les pilotes concernant le pilotage aux pieds lorsque le PA est pleinement activé (*Yaw auto-trim On*), en stationnaire ou à basse vitesse.

---

<sup>76</sup> Le pilote a émis une fiche d'incident léger sur BK117 C2 n'ayant aucun lien avec l'aspect « pilotage ».

Il ne peut être exclu que le pilote ait été confronté à cette même difficulté d'identifier la marge aux pieds et de doser la cadence lors de la manœuvre de dégagement, notamment dans le cas d'un départ en rotation commandé.

### **Conclusion : contribution d'une inertie de rotation en lacet**

**Une telle inertie a pu s'installer :**

- ❖ **suite à un départ en rotation résultant d'une action volontaire du pilote lors de la manœuvre de dégagement ;**
- ❖ **suite à une action à contre aux palonniers trop lente et/ou incomplète (palonniers non en butée).**

**L'occurrence du phénomène connu de « fausse butée de pied » (efforts ressentis aux palonniers, dus à la saturation de la servocommande de lacet en transitoire) a pu contribuer à une action incomplète aux palonniers. Un pilotage au pied « agressif » a pu contribuer à l'apparition de tels efforts.**

**L'occurrence d'une difficulté à doser la cadence aux pieds (phénomène rencontré sous PA à basse vitesse) a pu contribuer à l'installation d'une telle inertie.**

#### ***2.13.5 Conclusion générale sur cette hypothèse***

Bien que l'influence des différents facteurs cités ci-dessus ne puisse être précisément quantifiée<sup>77</sup>, il résulte que, par cumul de leurs effets respectifs, la limite d'efficacité du RAC a pu être atteinte lors de la manœuvre de dégagement.

**L'hypothèse que la limite d'efficacité du RAC soit à l'origine de l'évènement est donc POSSIBLE.**

---

<sup>77</sup> Les deux facteurs «puissance affichée » et « inertie installée » seraient cependant prépondérants.

## **2.14 Hypothèse : une déficience physiologique du pilote est à l'origine de l'évènement**

L'étude des antécédents médicaux et les examens n'ont apporté aucun élément en ce sens.

L'enquête n'a pas établi de fait susceptible d'envisager l'influence d'un état de fatigue du pilote.

**L'hypothèse qu'une déficience physiologique du pilote soit à l'origine de l'évènement est REJETÉE.**

## **2.15 Analyse de l'occurrence d'une manœuvre d'arrêt de la rotation en lacet**

### ***2.15.1 Procédure d'arrêt d'une rotation en lacet***

Pour arrêter une rotation en lacet, la procédure consiste, sur tout hélicoptère, quel que soit le sens de rotation du rotor principal, à :

- immédiatement, à contrer à fond au palonnier ;
- simultanément, engager une translation avant par prise d'assiette à piquer et/ou baisser le pas général (autant que possible en fonction des marges de manœuvre par rapport aux obstacles).

Des essais en vol sur divers appareils ont montré que cette manœuvre est toujours efficace, même si le taux de rotation est très élevé, pourvu que ces actions soient maintenues jusqu'à l'arrêt de la rotation.

### ***2.15.2 Analyse de l'occurrence d'une manœuvre d'arrêt de la rotation en lacet***

Les entrées de commande du pilote lors des rotations ne sont pas connues.

Il est possible que, dans la cas d'une détection tardive par le pilote du problème de contrôle en lacet rencontré, la première « porte de sortie » offerte au pilote, lorsque l'appareil se retrouve une première fois face à la vallée, ne soit pas utilisée pour engager une translation avant.

Ensuite, les marges par rapport au relief n'ont pas permis au pilote d'appliquer les amplitudes de commande nécessaires à l'arrêt de la rotation, ou, celles-ci étant appliquées, l'impact avec le relief n'a pu être évité.

Il est de plus probable que les rotations se soient effectivement accélérées. Le taux de rotation atteint n'est pas connu. Il est possible que la capacité physiologique du pilote à manœuvrer ait été altérée par l'accélération centrifuge et/ou par une désorientation spatiale, rendant de plus en plus difficile l'évitement du relief.

Il est d'autre part possible que le pilote ait demandé un surplus de puissance :

- par une action réflexe dans une situation d'urgence ;
- et/ou pour contrer une tendance à l'enfoncement de l'appareil, afin de préserver le CRS en cours de remontée au treuil,

Cette demande de puissance supplémentaire aurait alors eu pour effet d'accentuer le déficit de marge de contrôle en lacet et donc d'accélérer la rotation.

#### **Conclusion : analyse de l'occurrence d'une manœuvre d'arrêt de la rotation**

**Une détection tardive par le pilote du problème de contrôle en lacet rencontré est probablement à l'origine de l'absence de manoeuvre de sauvegarde lorsque l'appareil se retrouve une première fois face à la vallée.**

**Ensuite, les marges par rapport au relief n'ont pas permis au pilote d'appliquer les amplitudes de commande nécessaires à l'arrêt de la rotation, ou, celles-ci étant appliquées, l'impact avec le relief n'a pu être évité.**

#### **2.16 Analyse des circonstances de la survie du CRS en cours de treuillage**

Il a pu être établi :

- que le CRS se trouvait à deux mètres du patin lorsque l'appareil s'est écarté de la paroi ;
- qu'il a été secouru alors qu'il se trouvait sur la vire à quelques mètres du lieu du premier impact de l'appareil avec la paroi.

D'autre part, l'expertise du treuil et du câble a montré :

- que le dispositif pyrotechnique du coupe câble n'a pas été déclenché ;
- que le câble est rompu à 1,76 m du crochet ;
- que les torons externes du câble à l'endroit de cette rupture sont cisailés.

Le scénario probable est que le CRS a été libéré lors de l'impact du côté gauche de l'appareil avec la paroi, suite à la rupture du câble après son pincement entre l'appareil et la roche.

### **3 CONCLUSION**

#### **3.1 Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement**

##### ***3.1.1 Rappel du contexte***

L'accident a lieu le 05 juin 2006 vers 12h20, dans le cadre d'un exercice de secours en montagne sur la face Ouest du Petit Astazou, vers 2800 m d'altitude.

Cet exercice est réalisé par l'équipage d'alerte sur BK117 C2 de la base de la sécurité civile de Pau (un pilote, un MOB), au profit de cinq CRS de la section montagne de la CRS 29, en détachement au poste de secours de Gavarnie.

Dans la matinée, l'appareil a rejoint ce poste puis a déposé les cinq CRS sur l'arête Nord-ouest vers 2850 m d'altitude.

##### ***3.1.2 Rappel de l'événement***

Vers midi, après avoir treuillé à bord deux CRS dans le cadre de l'exercice, l'appareil s'éloigne au-dessus de la vallée puis revient se positionner en stationnaire vers 2800 m. Un CRS est treuillé pour récupérer un sac tombé le matin lors des déposes.

En fin de remontée du CRS, un témoin voit l'appareil s'éloigner de la paroi en translation latérale droite puis effectuer des rotations rapides en lacet avant d'impacter fortement la paroi.

Le pilote, le MOB et le CRS à bord sont tués. Le CRS en cours de treuillage est gravement blessé.

##### ***3.1.3 Eléments établis***

L'accident est consécutif à une perte de contrôle en lacet, laissant s'établir une rotation rapide dans le sens horaire (trajectoire en spirale).

Les expertises de l'épave n'ont pas révélé d'endommagement antérieur de l'appareil susceptible d'avoir un lien avec l'évènement.

Aucune panne de système susceptible d'avoir un lien avec l'évènement n'a été enregistrée par les équipements de bord.



Les conditions météorologiques générales étaient favorables à la réalisation du vol.

L'accident s'est produit dans la tranche d'altitude densité où la marge théorique de contrôle en lacet est minimale. Cependant, compte tenu de la masse de l'appareil au moment de l'évènement, cette marge était de l'ordre du tiers de la poussée RAC disponible, sans vent.

Le pilote n'a pas réalisé de passage de reconnaissance avant de procéder au treuillage pour la récupération du sac.

Depuis la formation montagne du pilote sur BK117 C2, réalisée un an avant l'évènement, son activité de secours en montagne est faible et discontinue.

### **3.2 Causes de l'évènement**

L'accident est consécutif à une perte de contrôle en lacet.

L'enquête a permis de retenir deux hypothèses possibles sur l'origine de cette perte de contrôle :

- une chute de pierre(s) endommageant le RAC ou le rotor principal :
  - ⇒ la réalisation d'un stationnaire d'une longue durée, dans une zone défavorable vis-à-vis de ce risque, a pu constituer des facteurs déterminants.
- l'atteinte de la limite d'efficacité du RAC lors de la manœuvre de dégagement :

L'absence d'enregistreur de paramètres de vol n'a pas permis de déterminer les circonstances et les facteurs déterminants de cette hypothèse. Cependant, il a été envisagé que :

- ⇒ la marge théorique disponible ait pu être consommée par le cumul des effets :
  - d'une aérologie locale défavorable (turbulences, rabattants) ;
  - de l'installation d'une inertie en lacet ;
  - de la trajectoire de dégagement utilisée (translation droite) ;
  - du vent faible de secteur arrière droit.

- ⇒ l'absence de passage de reconnaissance n'ait pas permis au pilote d'évaluer l'aérologie locale et ait pu ainsi contribuer à une surestimation de la marge disponible ;
- ⇒ la faible expertise du pilote dans la mission de secours en montagne sur BK117 C2 ait pu induire un manque d'aisance ayant contribué à l'atteinte de cette limite :
  - par un surdosage de la commande de puissance ;
  - par une difficulté à identifier la marge aux pieds et à doser la cadence en lacet sous pilote automatique ;
  - par une action incomplète et/ou tardive au palonnier, laissant s'installer une inertie en lacet.
- ⇒ le phénomène de « fausse butée de pied » (efforts ressentis aux palonniers en transitoire) ait pu être rencontré et contribuer à une action aux palonniers momentanément incomplète ;
- ⇒ il est probable que la rotation en lacet ait été initiée par le pilote ; une détection tardive par le pilote du problème de contrôle en lacet rencontré est alors probablement à l'origine de l'absence de manoeuvre de sauvegarde lorsque l'appareil se retrouve une première fois face à la vallée (engagement d'une translation avant). Ensuite, les marges par rapport au relief n'ont pas permis au pilote d'appliquer les amplitudes de commande nécessaires à l'arrêt de la rotation, ou, celles-ci étant appliquées, l'impact avec le relief n'a pu être évité.

## **4 RECOMMANDATIONS DE SECURITE**

### **4.1 Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement**

L'analyse des causes et des facteurs contributifs possibles retient la faible expérience et le faible niveau d'entraînement du pilote sur BK117 C2 au regard de la technicité requise pour la mission de secours en montagne et haute montagne.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande:

**à la DDSC, s'agissant de la mission de secours en montagne et haute-montagne :**

- ❖ d'adapter le contenu de la formation au niveau initial de recrutement,**
- ❖ d'intensifier le programme de formation, pour permettre une acculturation au milieu montagne,**
- ❖ d'accroître les exigences du programme de maintien des compétences.**

Dans le cadre du maintien des compétences, le seuil minimal d'entraînement à cette mission pourrait être rehaussé, et inclure un nombre minimal de treuillages.

L'analyse des causes et des facteurs contributifs possibles retient l'absence de passage de reconnaissance, ayant pu contribuer à une surestimation des marges disponibles. Une telle procédure constitue une aide à la prise de décision et doit permettre l'adaptation du plan d'action de l'équipage en fonction de la configuration du site et de l'aérologie, vis-à-vis du risque de chute de pierres (limitation du temps d'exposition, positionnement par rapport à la paroi), et vis-à-vis des marges de performances nécessaires (point de posé ou de treuillage, choix des trajectoires d'approche et de dégagement).

Plusieurs documents internes au GH mentionnent les enjeux et la méthode préconisée pour la réalisation du passage stabilisé sur BK117 C2. Il serait souhaitable de regrouper ces notions dans un document unique (par exemple, le manuel d'instruction montagne BK117 C2).

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

**à la DDSC :**

**❖ de rappeler aux équipages les enjeux du passage de reconnaissance en haute-montagne, et de pérenniser cette instruction.**

Il pourrait être envisagé dans ce cadre :

- de renforcer l'instruction à cette méthode de prise de décision,
- de renforcer la documentation opérationnelle et d'instruction,
- d'organiser un partage d'expérience sur les situations rencontrées et les plans d'action mis en œuvre par les pilotes.

L'analyse des causes et des facteurs contributifs possibles retient la détection tardive par le pilote du problème de contrôle en lacet rencontré, ceci pouvant être à l'origine de l'absence de manoeuvre de sauvegarde lorsque l'appareil se retrouve dans un secteur faisant face à la vallée.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande:

**à la DDSC :**

**❖ de renforcer la formation et l'entraînement des pilotes sur BK117 C2, relatifs :**

- ▶▶ **à la détection d'un départ non commandé en rotation en lacet ;**
- ▶▶ **à la procédure de sauvegarde associée à ce risque.**

L'analyse des causes et des facteurs contributifs possibles retient l'occurrence du phénomène de « fausse butée de pied » (efforts ressentis aux palonniers, dus à la saturation de la servocommande de lacet en transitoire), ayant pu contribuer à une action incomplète aux palonniers.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

**à la DDSC et à la DGGN, en liaison avec le service officiel (DGA) et le constructeur Eurocopter :**

- ❖ **que l'évolution de l'appareil envisagée, visant à supprimer le phénomène de « fausse butée de pied » (saturation de la servocommande de lacet en transitoire) soit menée à terme.**

L'analyse des causes et des facteurs contributifs possibles retient la difficulté d'identifier la marge aux pieds et de doser la cadence aux pieds en stationnaire sous pilote automatique. Une modification de l'appareil (changement de la fonction PA à basse vitesse), visant à améliorer l'interface homme-machine, est incluse dans un rétrofit en cours.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande:

**à la DDSC et à la DGGN :**

- ❖ **de renforcer la formation et l'entraînement des pilotes sur BK117 C2, relatifs au pilotage sous PA à basse vitesse,**
- ❖ **d'étudier et de mettre en place les aménagements de procédures nécessaires à l'évolution de la fonction PA à basse vitesse.**

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

Les appareils BK117 C2 en service dans la DDSC et dans la DGGN<sup>78</sup> ne sont pas équipés d'enregistreur d'accident de type FDR<sup>79</sup> ou CVR<sup>80</sup>.

L'apport de l'analyse des paramètres de vol est souvent primordial dans la détermination des circonstances d'un évènement. Dans le cas présent, s'agissant du deuxième accident mortel sur BK117 C2 en haute montagne pour lequel, notamment, les mouvements de l'appareil et les entrées de commande du pilote n'ont pu être précisément quantifiés, l'absence d'enregistreur nuit gravement à la détermination objective et complète des circonstances de l'évènement, et donc à la prévention de futurs évènements.

Un « rétrofit » en cours depuis l'été 2006 permet l'installation sur les appareils BK117 C2 de la DDSC<sup>81</sup> d'enregistreurs dits « de maintenance » UMS<sup>82</sup>, assurant notamment la fonction d'enregistrement et de restitution de compte-rendu de vol, associé au système SSQUAR<sup>83</sup> qui possède une fonction d'enregistrement continu des paramètres de vol.

Ce type d'équipement, bien que susceptible de pouvoir restituer des informations suite à un évènement, ne répond pas aux normes de résistance, notamment aux impacts et à l'incendie, exigées pour les enregistreurs d'accidents de type FDR.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

**à la DDSC et à la DGGN :**

**❖ d'équiper les appareils BK117 C2 d'enregistreurs d'accident.**

<sup>78</sup> Ces organismes n'ont pas l'obligation réglementaire d'installer ces équipements, qui sont donc d'ordre optionnel.

<sup>79</sup> FDR : *Flight data recorder* - Enregistreur de paramètres de vol.

<sup>80</sup> CVR : *Cockpit voice recorder* - Enregistreur de voix.

<sup>81</sup> Les appareils en service au sein de la DGGN sont équipés d'enregistreurs UMS.

<sup>82</sup> UMS : *usage monitoring system* - système de contrôle utilisateur.

<sup>83</sup> SSQUAR : *solid state quick access recorder* - enregistreur à semi-conducteurs à accès rapide.

Les missions de secours peuvent par essence comporter une part d'imprévu nécessitant l'adaptation constante des plans d'action des équipages et des partenaires (secouristes, équipes médicales). Une communication la plus efficace possible est donc nécessaire entre ces équipes. Lors de cet évènement, le scénario le plus probable montre que les plans d'action de l'équipage et des secouristes ont divergé suite à un imprévu, sans qu'une communication entre ces acteurs, notamment par radio, ne permette l'élaboration d'une stratégie commune.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

**à la DDSC, en collaboration avec les partenaires :**

- ❖ **de compléter les procédures existantes dans le sens d'un renfort de la communication entre les différents intervenants « de première ligne »<sup>84</sup> lors des missions de secours et lors de l'entraînement à ces missions.**

Il est possible que la préservation d'une autonomie suffisante à l'atterrissage à Pau en fin de mission ait participé au choix du pilote de ne pas réaliser de passage de reconnaissance de la zone de récupération du sac. L'impossibilité de ravitailler au poste de Gavarnie a donc pu constituer un facteur du scénario de l'accident.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

**à la DDSC :**

- ❖ **de prendre les mesures nécessaires pour assurer la disponibilité du point d'avitaillement du poste de secours de Gavarnie, afin d'accroître la marge d'adaptation des plans d'action des équipages lors des missions dans le secteur concerné ;**
- ❖ **d'étudier l'extension de ces mesures aux autres zones de secours en montagne.**

---

<sup>84</sup> Notamment les équipages, les secouristes, le personnel médical.

Au moment de l'évènement, les consignes permanentes d'opérations<sup>85</sup> (CPO) ne mentionnent pas l'apparition du BK117 C2 dans la flotte<sup>86</sup>. De même, les chapitres des directives générales de sécurité aérienne traitant de la notification des incidents et accidents d'aéronefs et de la conduite des enquêtes techniques n'intègrent pas la création du BEAD-air. Ces faits peuvent motiver une amélioration de l'organisation interne du GH visant à établir et entretenir dans la continuité un référentiel écrit adapté et structuré.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

**à la DDSC :**

- ❖ d'étudier et de mettre en place au GH une adaptation de l'organisation interne visant à établir et entretenir le référentiel documentaire lié aux opérations et à la chaîne de sécurité des vols.**

Des photos prises quelques minutes avant l'évènement montrent que la jugulaire de casque d'un des membres d'équipage n'est pas attachée lors d'une phase de treuillage.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

**que des rappels soient faits aux équipages sur la nécessité du port constant et intégral des effets et équipements de vol.**

---

<sup>85</sup> Ce document traite notamment « *des conditions d'emploi, des consignes d'exécution des missions et d'utilisation des appareils du GH* ».

<sup>86</sup> Les CPO étaient en cours de refonte fin 2006.



## ANNEXES

Annexe 1 : Présentation générale du contrôle en lacet sur BK117 C2 _____	98
Annexe 2 : Traces d'impacts sur le relief postérieures aux rotations en lacet _____	100
Annexe 3 : Événements survenus sur BK117 C2 au sein de la DDSC _____	106
Annexe 4 : Campagnes d'essais de manoeuvrabilité à haute altitude _____	108
Annexe 5 : Anomalies concernant la chaîne de lacet du BK117 C2 : cas rencontrés au sein de la DDSC, mesures prises ou en cours _____	111
Annexe 6 : Résultats des expertises _____	113

## **1 PRESENTATION GENERALE DU CONTROLE EN LACET SUR BK117 C2**

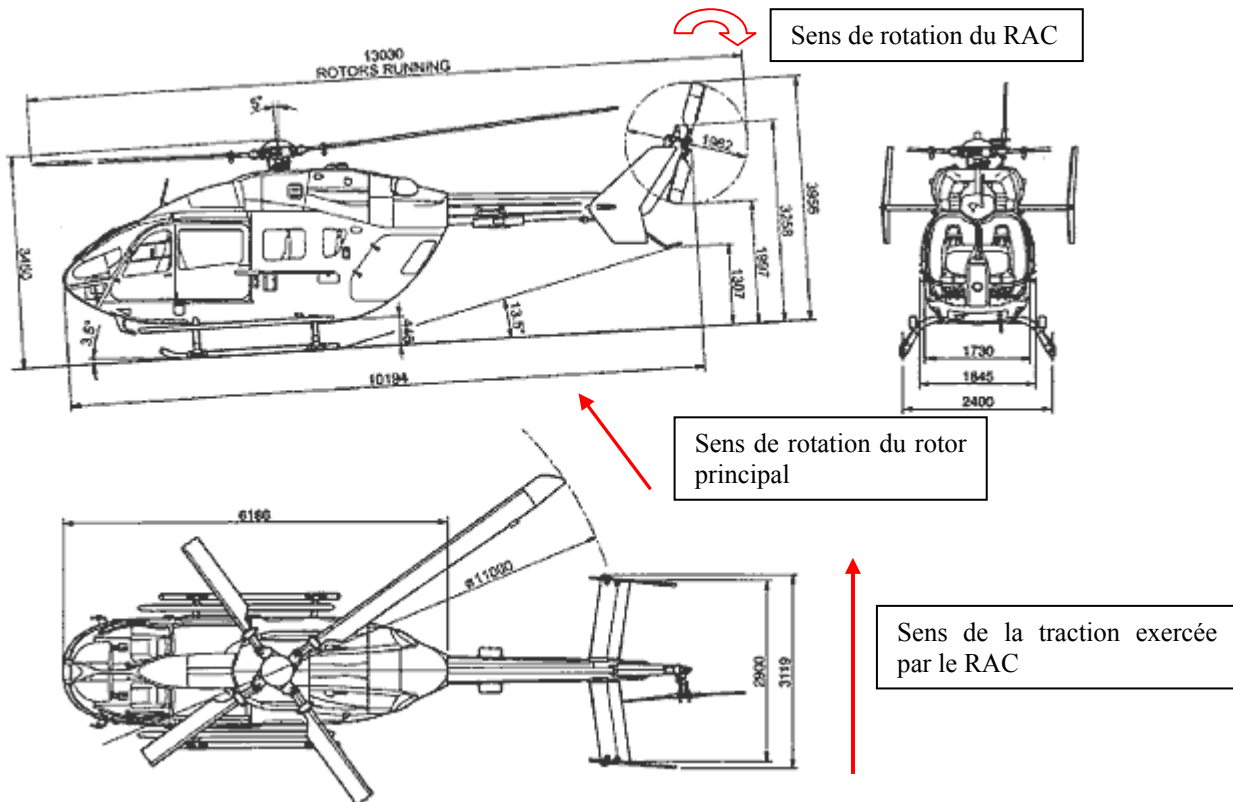
Sur un hélicoptère mécanique monorotor, le couple transmis au rotor principal par les moteurs, fixés à la cellule, crée par réaction un couple de renversement autour de l'axe de lacet (axe de rotation du mât rotor principal).

La traction exercée par le rotor anti-couple (RAC) permet de stabiliser l'appareil sur cet axe en contrant la somme algébrique de ce couple de renversement et du couple résultant des forces aérodynamiques sur la structure, notamment celles dues au vent. La modulation de cette traction, par l'action du pilote sur les palonniers, lui permet de piloter l'appareil sur cet axe.

Le rotor principal du BK117 C2 tourne dans le sens anti-horaire, vu de dessus. La traction du RAC s'exerce donc de la gauche vers la droite, vu de l'arrière de l'appareil.

Des limitations de taux de rotation en vol stationnaire figurent au manuel de vol (chapitre 2.16.3, Limitations opérationnelles – rotations en vol stationnaire):

- pour une masse totale  $\leq 3200$  kg : maximum  $45^\circ/\text{s}$  (rotation de  $360^\circ$  en 8 s) ;
- pour une masse totale  $> 3200$  kg : maximum  $30^\circ/\text{s}$  (rotation de  $360^\circ$  en 12 s).



Les longueurs indiquées sur les schémas ci-dessus sont en millimètres.

Le BK117 C2 est équipé d'un pilote automatique (PA) sur les trois axes (tangage-roulis-lacet).

Le système du PA comprend, sur l'axe de lacet, un dispositif (dénommé « *Feet-on/Feet-off* ») de détection de l'action du pilote sur les palonniers, les lois de pilotage étant alors différentes suivant le mode actif.

Les ordres générés par le calculateur PA sur l'axe de lacet sont transmis à un vérin de type SEMA, appelé « vérin série », installé dans la dérive verticale et monté en série par rapport à la servocommande de lacet. La fonction d'auto-trim lacet est assurée par un vérin dit « parallèle » monté sous les palonniers.

## **2 TRACES D'IMPACTS SUR LE RELIEF POSTERIEURES AUX ROTATIONS EN LACET**

### **2.1 Dépôts de peinture jaune et rouge**

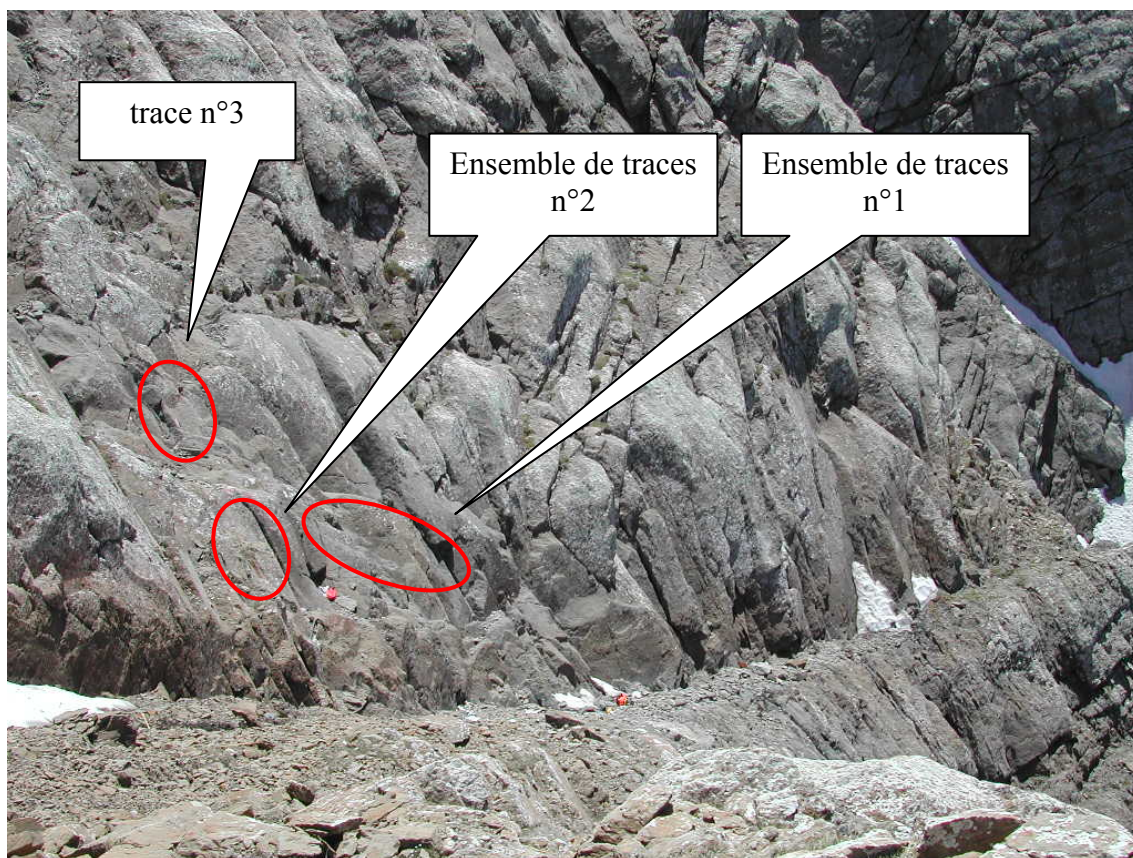
De nombreux dépôts de peintures rouge et jaune sont constatées depuis la zone A jusqu'à la zone C.

Les dépôts constatés le plus haut sont situés à environ six mètres au-dessus de la vire, à proximité de débris de la dérive gauche.

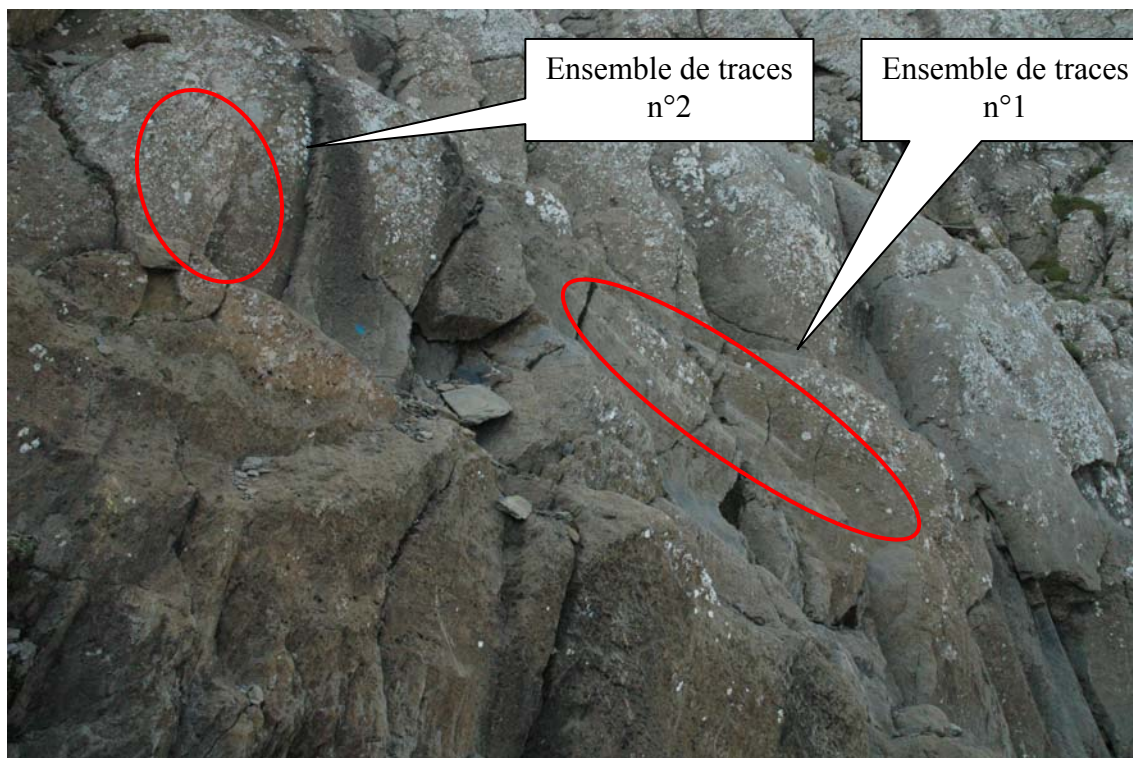
### **2.2 Traces de frottement sur la roche**

Ces traces ont été retrouvées dans la zone A, à quelques mètres au-dessus de la vire :

- les ensembles de traces n°1 et 2 ont été constatés le jour de l'évènement. Elles sont situées à l'altitude de 2720 m, à une cinquantaine de mètres à droite de l'arête, entre deux et trois mètres au-dessus de la vire ;
- la trace n°3 a été constatée le 23 juin 2006. Elle est située à sept mètres au-dessus de l'ensemble de traces n°2.



*Photo 18 : positionnement des traces par rapport à la vire*



*Photo 19 : positionnement des plus grandes traces*

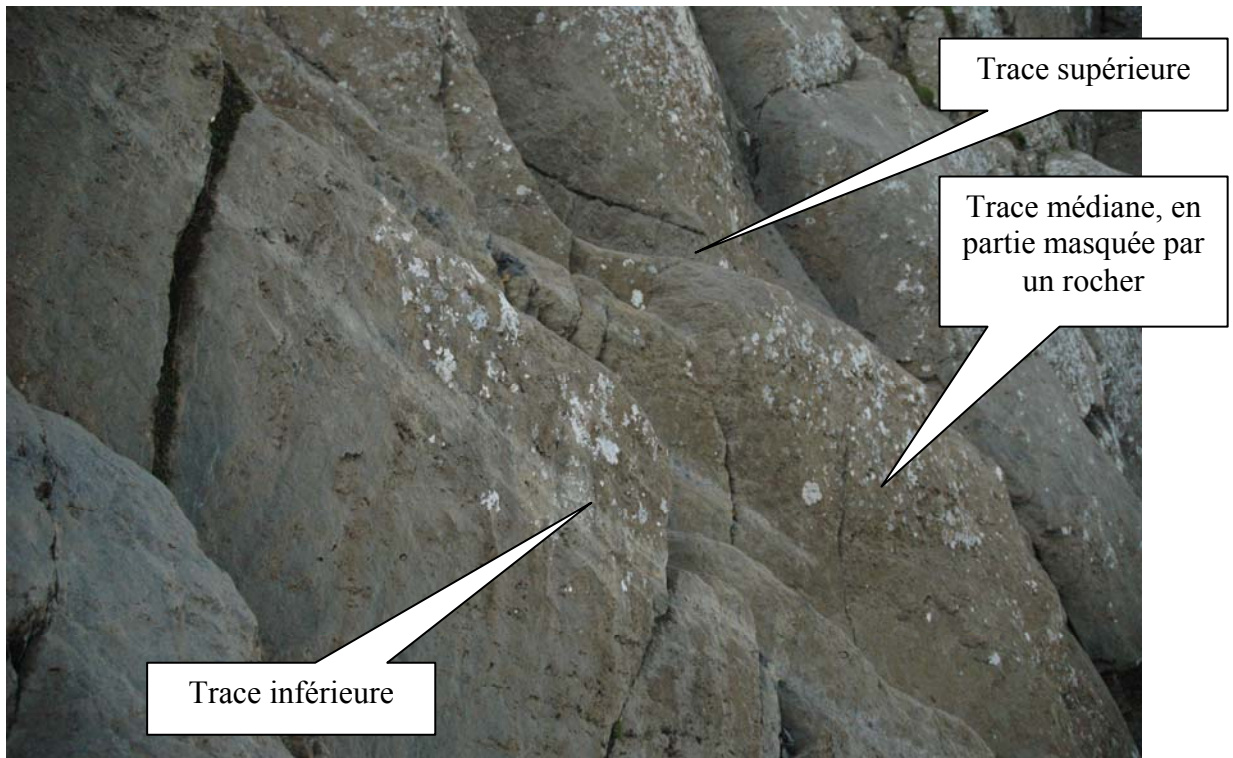
### 2.3 Ensemble de traces n°1

Cet ensemble comprend trois traces parallèles, inclinées de 50 à 60° par rapport à l'horizontale. Leur longueur sont respectivement, de haut en bas, 4.10, 2.50 et 4 m. Une brisure du rocher est alignée sur la trace supérieure.

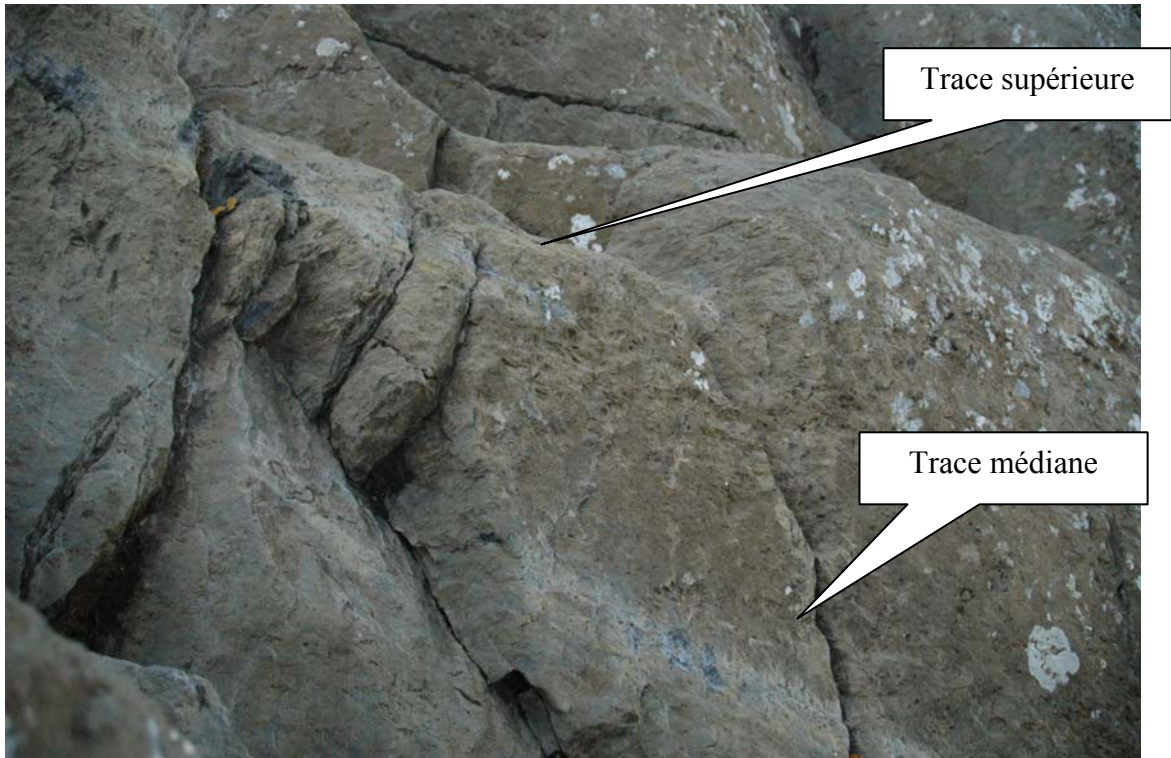
Les distances entre les traces sont :

- Trace supérieure - trace médiane : 25 à 30 cm ;
- Trace médiane – trace inférieure : 35 à 45 cm.

Ces trois traces ne sont pas situées dans le même plan vertical : la trace inférieure est située sur des rochers au premier plan, puis les deux autres traces sont en arrière-plan.



*Photo 20 : identification des 3 traces de l'ensemble n°1*

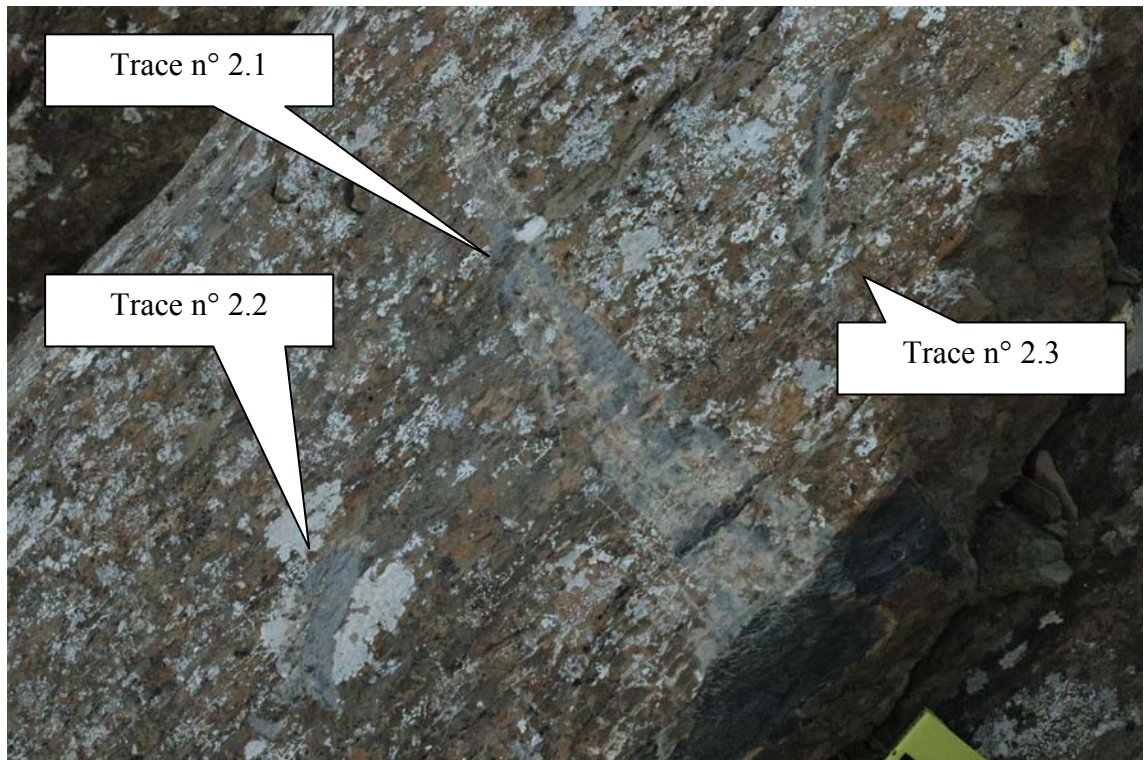


*Photo 21 : zoom sur 2 traces de l'ensemble n°1*

#### **2.4 Ensemble de traces n°2**

Cet ensemble comprend :

- une trace 2.1 d'une longueur d'environ 1,50 m, inclinée à environ 75°, et qui s'évase du haut vers le bas ;
- de part et d'autre de cette dernière, deux traces 2.2 et 2.3, quasi-verticales.



*Photo 22 : identification des trois traces de l'ensemble n°2*

Des dépôts de peintures rouge et jaune sont constatés à proximité de ces traces.

### **2.5 Trace n°3**

Cette trace est constituée d'une marque blanchâtre quasi-verticale. Elle est située à sept mètres au-dessus de l'ensemble de traces n°2. Des éclatements de roche sont constatés entre dix et quarante centimètres de cette trace. Des dépôts de peinture jaune et rouge sont également visibles à gauche de cette trace.





*Photo 23 : trace n°3*

### **3 ÉVÉNEMENTS SURVENUS SUR BK117 C2 AU SEIN DE LA DDSC**

#### **3.1 Accident du BK117 C2 n° 9009 le 20 juillet 2003, dans le massif de l'Arbizon<sup>87</sup>**

Cet appareil était également mis en œuvre au départ du poste de Gavarnie.

Il a été accidenté lors d'une mission de secours en montagne vers 2700 m d'altitude dans le massif de l'Arbizon. Alors qu'il décollait suite à un posé patin, l'appareil s'est mis à tourner à droite, autour de son axe de lacet. Il a percuté une première fois le sol puis a arrêté sa course vers 2500 m d'altitude.

Un des CRS est décédé et les cinq autres occupants ont été blessés, gravement pour quatre d'entre eux.

L'enquête du BEAD-air a conclu :

- *que l'accident est la conséquence d'une perte de contrôle en lacet, à droite, de l'appareil ;*
- *que les causes possibles sont essentiellement liées à l'environnement, au facteur humain et à la technique.*

*S'agissant des causes d'origine environnementale :*

- *l'aérologie (fort vent, rabattants ou vent traversier) ;*
- *le lieu de l'évènement (relief, cirque, altitude, température).*  
*ont pu concourir à l'évènement.*

*S'agissant des causes d'origine humaine :*

- *une reconnaissance de zone raccourcie : pas de passage stabilisé sur le point ;*
- *un manque d'information sur l'aérologie, sur le point de récupération, avec une éventuelle sous estimation de cette dernière ;*

---

<sup>87</sup> Enquête BEAD-S-2003-017-A. Le rapport final d'enquête technique a été émis en novembre 2004.

- *une faible expertise du pilote sur bimoteur et sur le BK117 C2 en particulier ;*
  - *l'embarquement de deux secouristes à bord.*
- ont pu concourir aux causes de l'évènement.*

*S'agissant des causes d'origine technique :*

- *aucune déficience mécanique endogène à l'appareil n'a été identifiée comme pouvant être une cause de l'accident. Les expertises effectuées montrent que l'appareil était mécaniquement intact jusqu'au moment de la perte de contrôle. Les efforts importants et inhabituels constatés sur la chaîne de lacet lors de la campagne d'essais, peuvent perturber la perception des butées de commande. A ce titre, ces efforts ont pu concourir aux causes de l'évènement ;*
- *par ailleurs, il a été constaté que l'ergonomie des indicateurs Vartoms, Mast Moment et des alarmes sonores et visuelles, génère une surcharge de travail pour le pilote, notamment lors de certaines phases de vol en montagne.*

### **3.2 Incident du BK117 C2 n°9030 le 22 janvier 2004, au Pic de Balaïtous**

Lors d'un vol d'instruction montagne au Pic du Balaïtous (Hautes-Pyrénées), le pilote en instruction a été confronté, lors d'une approche sur une crête située vers 3100 m, à un départ brusque en rotation en lacet à droite, stoppé après 270° de rotation. L'instructeur a alors effectué une nouvelle approche. Un deuxième départ brusque en rotation a eu lieu, stoppé également après 270° de rotation.

Les vérifications de l'appareil au sol et en vol n'ont pas révélé d'anomalie pouvant être liée à l'incident. Des essais en vol, décrits ci-dessous, ont été motivés par cet incident.

#### **4 CAMPAGNES D'ESSAIS DE MANOEUVRABILITE A HAUTE ALTITUDE**

Des essais en vol ont été menés par ECD, avec la participation du CEV, entre février et juillet 2004 afin :

- de mener des investigations suite à l'incident au Pic de Balaïtous,
- de manière plus large, d'évaluer la manoeuvrabilité en lacet à haute altitude.

Trois campagnes ont été réalisées sur l'appareil n°9030 instrumenté, représentant un total de 47 vols et 40 h de vol :

- en Allemagne (essais basse altitude), au mont Zugspitze (essais haute altitude 10 000 ft<sup>88</sup> en air libre) ;
- à Courchevel (essais haute altitude 6500-10600 ft dans l'effet de sol et en air libre).

Concernant l'incident du Pic de Balaïtous, le compte-rendu des essais mentionne notamment<sup>89</sup> :

- *« qu'il n'a pas été rencontré de configuration de vol qui reproduise fidèlement cet incident ;*
- *qu'on peut penser que la cause de cet incident est l'application d'une puissance très élevée (au-delà de la puissance de décollage, dans la zone de puissance transitoire) ;*
- *que les conditions de vent n'ont pu être qu'estimées par l'équipage, que la puissance utilisée accredit l'hypothèse de conditions de vent difficiles (rabattants) ... ;*
- *... que l'action de sauvegarde prise par le pilote (prise d'assiette à piquer, départ en translation et baisse de pas) était la plus appropriée.»*

Des conclusions sur l'ensemble de ces campagnes sont reprises ci-dessous :

---

<sup>88</sup> ft : Feet - Pied (1 ft ≈ 0,30 mètre).

<sup>89</sup> Rapport d'essais Eurocopter X-063/04 du 23 septembre 2004.

*Conclusions sur l'hélicoptère :*

- *les performances de l'EC 145 mesurées lors de ces essais sont parfaitement cohérentes avec celles mesurées lors des essais de certification tant en stationnaire HES qu'en stationnaire DES, y compris l'effet du vent. Les performances du manuel de vol sont donc confirmées ;*
- *en stationnaire, tant que la puissance de décollage n'est pas dépassée, la marge de commande est toujours suffisante pour tenir le cap, y compris avec un vent de 17 kt. Les marges sont plus faibles quand le vent vient de la droite. Il a été constaté que lorsque le vent vient de la gauche, l'hélicoptère peut présenter de l'agitation sur l'axe de lacet ;*
- *des augmentations inhabituelles d'efforts aux pédales peuvent se produire à haute altitude. Dans certains cas, le pilote peut confondre cette augmentation d'effort avec l'atteinte de la butée. Cependant si le pilote continue à pousser sur les pédales ces forces peuvent être surpassées et il ne s'ensuit pas de réduction de la contrôlabilité en lacet ;*
- *aucune anomalie de poussée rotor arrière qui puisse laisser penser à une perte d'efficacité (LTE, loss of tail effectiveness) n'a été rencontrée lors de ces essais ;*
- *même si l'efficacité du pilote automatique est réelle, elle n'empêche pas le pilote d'être conscient de la présence de turbulences.*

*Conclusions sur l'influence des conditions opérationnelles :*

- *au-delà de la puissance de décollage (dans la zone de puissance transitoire), il est possible d'atteindre la butée de pied, en particulier avec vent de la droite. Dans ce cas on assiste à un départ modéré en rotation à droite ;*
- *les opérations en montagne proches de la masse maximale HES dans les turbulences nécessitent souvent de rapides augmentations de puissance jusqu'aux valeurs transitoires, ce qui peut avoir pour conséquence un départ en rotation quand les marges initiales sont faibles ;*
- *il ne faut jamais laisser s'établir de vitesse angulaire de lacet en particulier lorsque la marge de commande initiale est faible (forte masse, haute altitude, vent de la droite). Tout départ doit être contré immédiatement par application de pédale*

*maintenue jusqu'à la butée ci nécessaire ; En cas de départ en rotation avec butée de pied à gauche, la prise d'assiette à piquer suivie d'une baisse de pas est une manœuvre efficace .../...*

## **5 ANOMALIES CONCERNANT LA CHAÎNE DE LACET DU BK117 C2 : CAS RENCONTRES AU SEIN DE LA DDSC, MESURES PRISES OU EN COURS**

Depuis l'entrée en service, au moins quinze fiches d'anomalie ont été émises concernant la chaîne de lacet. Le traitement de ces anomalies et les campagnes d'essais en vol ont permis d'identifier trois types de causes.

### **5.1 Efforts dynamiques aux pédales**

Des augmentations des efforts aux pédales ont été ressenties par des pilotes et confirmées lors des essais à haute et basse altitude. Les conclusions des essais mentionnent notamment que :

- *« dans certains cas, le pilote a confondu ces augmentations d'efforts avec la butée de pied ;*
- *l'augmentation significative des efforts à haute altitude n'empêche néanmoins pas l'appareil de rester capable de manoeuvrer si le pilote continue à appliquer un effort suffisant ».*

L'origine de ces efforts a été identifiée par le constructeur :

- friction sur les paliers téflon des pales RAC, due à l'usure ou à la dispersion de fabrication ;
- et/ou saturation de la servocommande sous effort élevé.

Un rétrofit des appareils est en cours<sup>90</sup>, visant à réduire les efforts aux palonniers par :

- rodage des paliers téflon neufs,
- augmentation de 15% du débattement des palonniers,
- évolution des masses chinoises<sup>91</sup> du RAC (diminution de l'angle de contrôle lacet et masse augmentée).

---

<sup>90</sup> L'appareil n°9007 n'a pas été « rétrofité » ; le premier appareil modifié, appartenant à la DDSC, a été réceptionné mi-octobre 2006.

<sup>91</sup> Masses chinoises : poids dynamiques installés sur la chape de commande, ajustés de manière à compenser le couple du rotor principal en vol stationnaire.

Un critère de test en vol a d'autre part été introduit pour vérifier les efforts de commande RAC en série.

Concernant les appareils en service, un service bulletin a été émis par ECD en octobre 2004, préconisant un rodage des bagues pour les appareils ayant moins de 900 h de fonctionnement<sup>92</sup>.

A la date de l'évènement, l'adaptation ou le remplacement de la servocommande faisait l'objet d'une étude du constructeur.

## **5.2 Manque de précision du système de détection *feet-on*, *feet-off* à basse vitesse**

Sous pilote automatique, les lois de pilotage en lacet sont différentes selon que ce système est en mode « palonniers libres » (*feet-off*) ou qu'il détecte une action du pilote aux palonniers (mode *feet-on*).

Si cette action du pilote est lente, le passage du mode *feet-off* au mode *feet-on* ne se produit pas et le pilote, pensant être en mode *feet-on*, ressent que le PA « travaille contre lui ». A l'inverse, le pilote peut involontairement provoquer le passage du mode *feet-off* au mode *feet-on*. S'il ne s'en aperçoit pas, il pense que la tenue de cap est assurée alors qu'elle ne l'est plus.

Ces phénomènes ont été attribués à un manque de précision de la détection. Suite à une étude et des essais en vol menés, un changement de la fonction PA basse vitesse est prévu dans le cadre du chantier de rétrofit n°2<sup>93</sup>, afin d'améliorer l'interface homme-machine concernant le contrôle au pied de l'appareil.

---

<sup>92</sup> L'appareil n°9007 avait alors plus de 900 h de vol, et n'a donc pas été concerné par ce service bulletin.

<sup>93</sup> Ce rétrofit prévoit notamment la possibilité d'une désactivation manuelle de la fonction d'auto-trim lacet, ceci permettant un contrôle au pied de l'appareil tout en conservant la fonction de stabilisation du pilote automatique.



## **6 RESULTATS DES EXPERTISES**

### **6.1 Conclusions des expertises réalisées au CEPr**

#### ***6.1.1 Conclusion des analyses de fluides***

Les deux échantillons de carburant (issus de la cuve d'avitaillement de Pau et du réservoir d'expansion du circuit carburant de l'appareil) sont conformes à la spécification du carburéacteur F34.

L'analyse de l'échantillon d'huile hydraulique prélevé au CEPr en sortie du bloc des servocommandes du rotor principal révèle des valeurs de viscosité légèrement inférieures aux valeurs minimales de la spécification d'huile H-515. Ceci est une conséquence normale du vieillissement de l'huile.

#### ***6.1.2 Conclusion des expertises des ensembles mécaniques***

Les parties de l'épave inspectées dans ce centre ne présentent aucune trace de dysfonctionnement ou d'endommagement antérieur à l'écrasement sur le relief. Ceci concerne notamment la partie de la commande de vol en lacet inspectée par ce centre.

Des indices de rotation et de transmission de puissance au rotor principal lors de l'impact ont été identifiés sur les moteurs, sur les arbres de transmission de puissance, sur le haut du mât rotor principal et sur certains composants de l'ensemble BTP et mât rotor principal.

La rupture du fourreau du circuit n°2 de la servocommande longitudinale est de type statique. Elle est due à une contrainte en flexion générée sur l'extrémité avant de la servocommande lors des impacts contre le relief.

## 6.2 Conclusions des expertises réalisées au CEAT

Les parties de l'épave inspectées dans ce centre ne présentent aucune trace de dysfonctionnement ou d'endommagement antérieur à l'écrasement sur le relief<sup>94</sup>. Ceci concerne notamment la partie de la commande de vol en lacet inspectée par ce centre.

Les importants endommagements constatés sur les pales principales sont caractéristiques d'un contact de celles-ci avec un obstacle rigide (choc dur), à grande vitesse de rotation.

Les endommagements constatés sur la partie supérieure de la tête rotor sont consécutifs à un choc secondaire de celle-ci avec le relief, l'appareil ayant basculé sur le dos au cours de sa chute.

Les endommagements constatés sur les pales du RAC sont caractéristiques d'un contact de celles-ci avec un obstacle rigide (choc dur), à grande vitesse de rotation. Ils se sont produits lors de l'impact de l'appareil avec la paroi, après les rotations en lacet. Ils ne peuvent s'être produits avant que l'appareil ne s'écarte de la paroi en translation, car la perte totale de traction aurait alors provoqué une rotation immédiate en lacet. Cependant, l'expertise n'a pu permettre de déterminer si un endommagement moindre s'est produit antérieurement.

Concernant la transmission RAC, les déformations de la fixation par rivets entre l'arrière de l'arbre long et le manchon d'accouplement vers la BTI sont révélatrices d'un surcouple créé par un ralentissement côté RAC, la transmission fournissant alors de la puissance à celui-ci.

Le câble de treuil s'est rompu à 1,74 m du crochet, sous des sollicitations de cisaillement puis de traction. Le crochet est intact.

La charge d'explosif du dispositif de coupe-câble n'a pas été déclenchée.

---

<sup>94</sup> Les criques, situées sur la fixation du plan fixe horizontal droit de la poutre de queue, qui faisaient l'objet d'un suivi avant l'accident, ont été inspectées. Elles n'ont pas évolué de manière significative et n'ont donc pas de lien avec l'évènement.

### **6.3 Conclusions des expertises réalisées par la société Turboméca**

L'examen interne des régulateurs des deux GTM n'a révélé aucun dommage antérieur à l'évènement.

Les expertises des deux boîtiers tachymétriques montrent que les relais se trouvent en position de non-détection de survitesse.

### **6.4 Conclusions des expertises réalisées par la société Liebherr Aerospace**

Les essais au banc hydraulique des servocommandes du rotor principal ont nécessité le remplacement de certaines parties externes endommagées par les chocs avec le relief.

Une fois ces blocages mécaniques supprimés, les essais au banc ont révélé :

- un léger déficit de l'effort de rétraction de la servocommande de lacet, par rapport à la spécification (-5.7 %) : ce déficit a été attribué aux endommagements dus aux chocs avec le relief ;
- un blocage de la servocommande longitudinale dans le sens de la rétraction, du à la rupture d'un axe de distribution interne : l'analyse de cette rupture, réalisée par le CEPr, montre qu'elle est due à un impact avec le relief.

En conclusion, les endommagements constatés sur les servocommandes sont dus aux chocs avec le relief.

### **6.5 Résultats de l'analyse des données extraites d'équipements de bord**

#### ***6.5.1 Analyse des données extraites du VEMD/CAD***

L'analyse des données extraites n'a révélé aucun défaut d'enregistrement. Les trente-deux rapports de vol ont été édités (vols n° 1462 à 1493). Le vol de l'accident est identifié par le numéro 1493.

Conclusion de l'analyse des données relatives au dernier vol (3<sup>ème</sup> vol du 5 juin 2006) :

Étant donné la fréquence de rafraîchissement des données (80 s), sa durée est comprise entre 14 min 10 s et 15 min 30 s. L'enregistrement de ce dernier vol ne s'est pas arrêté de

façon nominale, c'est-à-dire par une transition de l'état logique « vol » à l'état « sol ». Ceci est dû à une perte de l'alimentation électrique.

La seule panne enregistrée relative à ce dernier vol est une panne du système de visualisation des paramètres de vol (FCDS). Ceci a motivé l'extraction des données FCDS dont l'analyse est présentée au paragraphe 2.5.5.4.

Aucune panne du système de visualisation central (CPDS) ou du système du pilote automatique (AFCS) n'a été enregistrée.

Aucun dépassement de la limite de moment de flexion du mât rotor n'a été enregistré.

Conclusion de l'analyse des données relatives aux vols précédents réalisés le 5 juin 2006:

Les temps de vol enregistrés sont respectivement :

- 1<sup>er</sup> vol (Pau-Gavarnie): 0h28;
- 2<sup>ème</sup> vol (déposes des cinq CRS et vol local) : 0h44.

Aucune panne n'a été enregistrée lors du 2<sup>ème</sup> vol.

### ***6.5.2 Analyse des données extraites des calculateurs APM du pilote automatique***

Le rapport est commun avec celui concernant l'expertise du VEMD/CAD.

Pour chacun des deux modules, les informations enregistrées par leurs deux cartes sont identiques. L'analyse des données extraites n'a révélé aucun défaut d'enregistrement.

Elle révèle que le pilote automatique était connecté durant le dernier vol.

Les rapports de fin de vol sont absents, ceci étant la conséquence de la perte de l'alimentation électrique des modules.

Trente-cinq messages de pannes sont enregistrés durant 3.5 s à partir du temps 14 min 24,5 s, soit après la fin de l'enregistrement des données par le CPDS (ensemble VEMD et CAD)<sup>95</sup>. Ceci est cohérent avec les caractéristiques de la fonction d'enregistrement.

---

<sup>95</sup> Les temps VEMD/CAD et PA sont synchrones.

La plupart des messages, dont les premiers enregistrés, sont des invalidités d'informations délivrées par des capteurs liés à l'AHRs<sup>96</sup>.

Sont présents ensuite des messages concernant des invalidités des valeurs transmises par (liste non exhaustive) :

- des capteurs de position des manches cyclique et collectif ;
- les vérins SEMA<sup>97</sup> de roulis et tangage ;
- différents systèmes (ADC<sup>98</sup>, FCDS).

Les messages relatifs à la chaîne de contrôle en lacet apparaissent en fin de liste :

- perte de la validité du vérin série ;
- différence excessive entre deux mesures consécutives du capteur de position du palonnier.

Ces messages ont été générés lors des premiers impacts avec le relief. Ils ne sont pas antérieurs au début de la rotation rapide en lacet et sont donc des conséquences de l'évènement.

### **6.5.3 Analyse des données extraites du système de navigation NMS**

Chronologiquement, le jour de l'accident, trois évènements identiques sont enregistrés par les deux cartes, puis trois autres par une seule carte.

Les quatre premiers évènements ont lieu entre le décollage de Pau et le décollage du poste de secours de Gavarnie à 12h06. Ils sont relatifs au système de navigation et n'ont pas de lien avec l'accident.

Le cinquième évènement (*FMS2 GPS NAV LOST*, perte du GPS par le calculateur de navigation n°2) est enregistré à 12h19'20'' et le sixième évènement (*FMS2 INDEPENDANT OP*, perte de communication avec le calculateur 2, due à une perte d'alimentation ou de liaison) quatre secondes plus tard. Les temps de ces deux évènements sont très proches de l'heure de l'accident résultant des témoignages (12h20). Leurs

<sup>96</sup> AHRs : *attitude and heading reference system* - centrale d'assiette et de cap à fibre optique.

<sup>97</sup> SEMA : *Smart electro mechanical actuator* – actionneur électromécanique intelligent.

<sup>98</sup> ADC : *air data computer* – centrale baro-anémométrique.

positions sont proches l'une de l'autre (environ 50 m) et sont situées sur la face Ouest du Petit Astazou aux altitudes 2736 m (8977 ft) puis 27 m plus bas.

Les précisions des altitudes enregistrées ne permettent pas de les exploiter en valeur absolue. Les deux derniers événements se sont produits à des instants proches de la perte de contrôle. Le sixième événement, de par sa nature (perte d'alimentation ou de liaison) est probablement consécutif aux impacts de l'appareil sur le relief.

La nature des deux derniers événements ne peut avoir de lien avec les causes de la perte de contrôle. Ces informations n'apportent donc pas d'élément significatif sur les causes de l'accident.

#### ***6.5.4 Analyse des données extraites du FCDS***

Le message enregistré par le VEMD/CAD lors du dernier vol n'apporte pas d'élément significatif sur les circonstances et les causes de l'accident.