

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 19 mai 2009

RAPPORT FINAL D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-T-2008-003-A

Date de l'événement	10 mars 2008
Lieu	BOUAKE – République de Côte d'Ivoire
Type d'appareil	Gazelle SA 341 F2 canon
Immatriculation	F MCPC
Organisme	Armée de terre – aviation légère de l'armée de terre
Unité	BATALAT opération licorne

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. Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heures locales. Au moment de l'événement, l'heure locale correspond à l'heure de Paris moins 1 heure.

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.

CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page de garde : BEAD-air.

Pages 9, 10, 15, 16, 17, 23 : BEAD-air.

Pages 33, 34, 35, 36, 37 : CEPr.

Page 38 : BEA.

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	2
TABLE DES MATIERES	3
GLOSSAIRE	5
TABLE DES ILLUSTRATIONS	6
SYNOPSIS	7
1. Renseignements de base	8
1.1. Déroulement du vol	8
1.1.1. Mission.....	8
1.1.2. Déroulement.....	8
1.1.3. Localisation.....	11
1.2. Tués et blessés	11
1.3. Dommages à l'aéronef	11
1.4. Autre dommage	11
1.5. Renseignements sur le personnel	11
1.5.1. Pilote commandant de bord.....	11
1.5.2. Pilote	12
1.5.3. Expérience commune de l'équipage	12
1.6. Renseignements sur l'aéronef	13
1.6.1. Maintenance	13
1.6.2. Performances.....	13
1.6.3. Masse et centrage	14
1.6.4. Carburant.....	14
1.6.5. Autres fluides	14
1.7. Conditions météorologiques	14
1.7.1. Prévisions	14
1.7.2. Observations.....	14
1.8. Aides à la navigation	15
1.9. Télécommunications	15
1.10. Enregistreurs de bord	15
1.11. Renseignements sur l'épave et sur l'impact	15
1.11.1. Constatations sur l'épave après l'impact.....	15
1.11.2. Examen de l'épave après renflouement.....	16
1.12. Renseignements médicaux et pathologiques	17
1.12.1. Pilote commandant de bord.....	17
1.12.2. Pilote	18
1.13. Incendie	18
1.14. Survie des occupants	18
1.14.1. Évacuation de l'hélicoptère après immersion.....	18
1.14.2. Organisation des secours.....	18
1.15. Plan d'expertises	19
1.16. Renseignements sur les organismes	19
1.17. Renseignements supplémentaires	20
2. Analyse	21
2.1. Le scénario de l'impact	21
2.1.1. Analyse des endommagements de la cellule et des organes de transmission de puissance.....	21
2.1.2. Reconstitution de la trajectoire finale.....	22
2.2. Hypothèse : la défaillance du moteur	23
2.2.1. Le groupe turbo moteur GTM.....	23
2.2.2. Le régulateur	23
2.2.3. La qualité du kérosène employé.....	23
2.3. Les causes relevant du domaine des facteurs humains	24
2.3.1. Hypothèse : des erreurs de pilotage dans la conduite de l'approche ont contribué à l'événement.....	24
2.3.2. Hypothèse : une erreur de perception de la hauteur a contribué à l'événement	25
2.3.3. Hypothèse : une défaillance de communication au sein de l'équipage a contribué à l'événement	26
2.3.4. Hypothèse : une prise de décision sous influence a contribué à l'événement.	26
3. Conclusion	28
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement	28
3.1.1. Contexte et préparation de la mission	28

3.1.2. Déroulement du vol et trajectoire finale.....	28
3.1.3. Déroulement des opérations de secours	28
3.2. Causes de l'événement	29
4. Recommandations de sécurité	30
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	30
4.1.1. Le niveau d'activité sur un théâtre d'opérations	30
4.1.2. Le niveau d'entraînement des équipages.....	30
4.1.3. La communication au sein de l'équipage.....	30
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	31
4.2.1. L'organisation des secours.....	31
4.2.2. L'utilisation de la sonde altimétrique.....	31
ANNEXES	32
Annexe 1 : analyse des endommagements constatés sur la poutre de queue.....	33
Annexe 2 : analyse des endommagements constatés sur le fenestron.....	34
Annexe 3 : analyse des endommagements constatés sur la transmission arrière.....	36
Annexe 4 : reconstitution de la trajectoire après l'exploitation des données enregistrées dans le GPS MAP 96	38

GLOSSAIRE

BATALAT	Bataillon de l'aviation légère de l'armée de terre
BEA	Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile
CEPr	Centre d'essais des propulseurs
EAALAT	École d'application de l'aviation légère de l'armée de terre
EHM	Escadrille d'hélicoptères mixtes
GTM	Groupe turbomoteur
IMASSA	Institut de médecine aérospatiale du service de santé des armées
PCB	Pilote commandant de bord

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Photographies

Axe d'approche et points d'arrêt de la finale d'approche	10
Position finale de l'épave	10
Vue de l'épave 30 mn après l'accident	15
Vue de l'épave après immersion	15
Relevage de l'épave	16
Rupture de la poutre de queue	17
Vue générale de l'épave	17
Vue du fenestron	17
Vue du rotor anticouple	17
Analyse des endommagements constatés sur la poutre de queue	33
Analyse des endommagements constatés sur le fenestron	34
Analyse des endommagements constatés sur la transmission arrière	36
Reconstitution de la trajectoire après l'exploitation des données enregistrées dans le GPS MAP 96	38

Illustrations

Représentation de la trajectoire suivie	9
Représentation schématique de la trajectoire dans le plan vertical	23

SYNOPSIS

Date de l'événement : 10 mars 2008 à 13 h 42.

Lieu de l'événement : étang de SODEFEL – commune de N'Douakro (5 km au sud de BOUAKE - République de Côte d'Ivoire).

Organisme : armée de terre – aviation légère de l'armée de terre.

Commandement organique : force Licorne.

Unité : BATALAT Licorne.

Aéronef : Gazelle SA 341 F2 canon n° 1251 – immatriculée FMCCP.

Nature du vol : exercice tactique au profit d'une unité au sol.

Nombre de personnes à bord : 2

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Au cours d'un exercice d'entraînement aux procédures d'appui feu hélicoptère, le pilote commandant de bord (PCB) prend les commandes et effectue une approche sur un plan d'eau. Il perd le contrôle de sa machine en courte finale. L'hélicoptère impacte la surface de l'eau puis sombre. Les deux membres d'équipage évacuent et rejoignent la berge, indemnes.

Composition du groupe d'enquête technique

- Un enquêteur technique du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air), nommé directeur d'enquête.
- Un enquêteur technique du BEAD-air, nommé adjoint au directeur d'enquête.
- Un officier pilote ayant une expertise sur la Gazelle SA 341.
- Un officier mécanicien ayant une expertise sur la Gazelle SA 341.
- Un médecin du personnel navigant en qualité d'expert médecin.

Autres experts consultés

- Délégation générale pour l'armement – centre d'essais des propulseurs (CEPr).
- Bureau d'enquêtes et d'analyses (BEA) – division enregistreurs de vol.
- Société Turboméca.
- Institut de médecine aérospatiale du service de santé des armées (IMASSA).

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air a été prévenu de l'accident le 10 mars 2008 vers 16 h 00, heure de Paris. L'équipe d'enquête technique est arrivée sur le territoire le 13 mars à 18 h 30. La procédure d'obtention des visas, imposée par l'ambassade de Côte d'Ivoire en France, a retardé le départ des enquêteurs. En l'absence d'enquêteur de première information sur le site, les opérations de renflouage de l'épave ont dû attendre la présence sur site des enquêteurs. L'immersion prolongée de l'hélicoptère a été préjudiciable à la conservation des indices et à la réalisation des expertises.

Enquête judiciaire

- Le parquet du tribunal aux armées de Paris s'est saisi de l'affaire.
- Un officier de police judiciaire de la prévôté de l'opération Licorne a été commis pour l'enquête de flagrance.
- Un officier de police judiciaire de la section judiciaire de Paris a été commis pour le suivi de la procédure en métropole.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

La mission est un exercice d'entraînement tactique au profit d'unités au sol. Il s'agit d'effectuer, dans un premier temps, l'éclairage et l'appui d'une opération d'hélicoptage puis, dans un deuxième temps, d'effectuer un appui feu hélicoptère (AFH) à la demande des unités hélicoptées. Cet exercice prévoit la participation d'un hélicoptère de manœuvre Puma SA 330, et d'une patrouille d'hélicoptères légers composée d'une Gazelle SA 342 Viviane et d'une Gazelle SA 341 F2 canon.

Indicatif mission : BARACOUDA.

Type de vol : COM V¹.

Type de mission : exercice appui feu hélicoptère.

Dernier point de départ : escadrille d'hélicoptères mixtes de Bouaké.

Heure de départ : 13 h 00.

Point d'atterrissage prévu : escadrille d'hélicoptères mixtes de Bouaké.

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

Le vol est programmé le 9 mars 2008 par l'escadrille d'hélicoptères mixtes (EHM) de Bouaké. Il est conforme aux missions opérationnelles définies par l'ordre d'opération de la force Licorne. Validé par le chef de corps du BATALAT Licorne, il est inscrit aux ordres de vol.

Cet exercice avait déjà été réalisé 4 jours auparavant, avec les mêmes équipages, les mêmes unités au sol, et selon les mêmes modalités (zones de posé hélicoptères et postes d'observation identiques). Le décollage est prévu le 10 mars à 14 h 00. Le briefing de la mission est réalisé le même jour en fin de matinée, en présence de l'ensemble des responsables concernés (chef de section de l'unité au sol, chef de patrouille et commandants de bord). Le pilote de l'hélicoptère accidenté n'est toutefois pas présent à ce briefing puisqu'il est en vol pour une autre mission.

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

Le décollage, initialement programmé à 14 h 00, est avancé à 13 h 00 en raison de contraintes de service des unités au sol. Tous les participants sont informés de ce changement. Avant la mise en route, le pilote informe son commandant de bord qu'une purge du régulateur a été réalisée sur leur hélicoptère, et qu'ils devront, par conséquent, effectuer un vol de contrôle technique (stationnaire de sécurité) avant le départ en mission. L'hélicoptère Puma et l'hélicoptère Gazelle Viviane du chef de patrouille décollent donc sans la Gazelle canon. Cette dernière rejoint le dispositif à l'issue des opérations de contrôle du fonctionnement du régulateur.

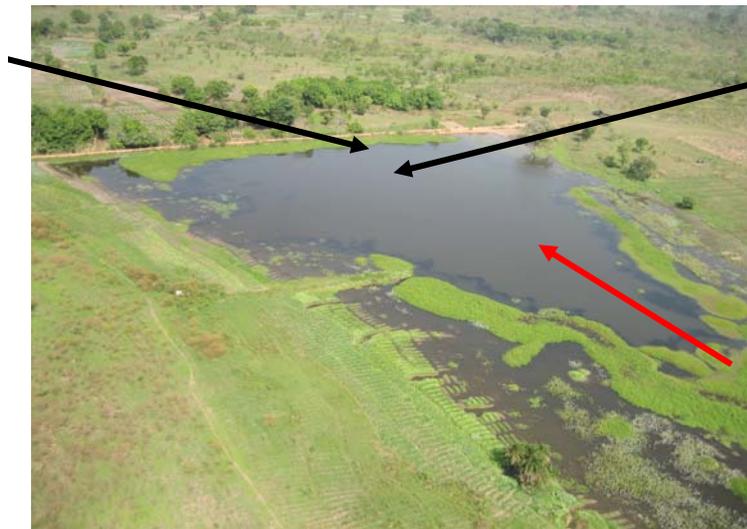
La première partie de l'exercice (phase d'hélicoptage) se déroule selon la chronologie fixée. A l'issue de la dépose au sol, la section d'infanterie prend du retard dans son déploiement. La patrouille d'hélicoptères Gazelle est donc dans l'attente de la transmission du message d'appui feu hélicoptère. Le chef de patrouille décide alors de mettre en attente sa patrouille, en retrait de la ligne d'engagement, en effectuant un circuit d'attente au nord de la zone.

¹ COM V : circulation opérationnelle militaire de type Victor (vol à vue).

Au cours de l'approche, le pilote annonce au PCB la présence d'oiseaux situés sur la droite, en entrée du plan d'eau. Il signale également la présence de personnes sur la digue.

Le PCB effectue son approche en modifiant son point d'arrêt pour tenir compte de la présence de ces personnes : il choisit une zone sur l'étang située entre 30 et 50 mètres en avant de la digue. Il se présente en courte finale à une hauteur d'environ 10 mètres/sol, à une vitesse qu'il juge faible. Il entame une réduction de vitesse en affichant une assiette à cabrer de 10° puis accentue cette assiette (valeur non estimée). Il effectue une mise en puissance pour arrêter la machine jusqu'à l'affichage de la 1^{ère} butée. Il constate alors l'enfoncement de l'hélicoptère et entend simultanément un bruit de type « mixeur » provenant de l'arrière. Il pense alors avoir touché l'eau avec le fenestron. Il remet l'hélicoptère à plat et constate la rotation incontrôlée par la gauche de l'hélicoptère. Il prend alors la décision de coucher la machine en mettant de l'inclinaison à gauche. L'hélicoptère impacte l'eau et se renverse (photo 2).

Digue : point initial de la finale



Point d'arrêt modifié de la finale

Axe d'approche

1. Axe d'approche et points d'arrêt de la finale d'approche

Épave



Axe d'approche

2. Position finale de l'épave

1.1.3. Localisation

- Lieu : étang de SODEFEL :
 - pays : République de Côte d'Ivoire ;
 - commune : N'Douakro ;
 - coordonnées géographiques dans le système géodésique WGS 84 :
 - N 07° 39' 07.44 ;
 - W 004° 58' 42.25 ;
 - altitude du lieu de l'événement : 270 mètres.
- Moment : jour, début d'après midi ;
- Aéroport le plus proche au moment de l'événement :
 - aéroport non contrôlé de Bouaké à 14 kilomètres dans le 045° du lieu de l'événement ;
 - zone de posé hélicoptères de l'EHM Bouaké à 6,5 kilomètres dans le 160° du lieu de l'événement.

1.2. Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Légères	0		
Aucunes	2		

1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
SA 341 F2 n° 1251		X		

Les dommages sur l'aéronef sont décrits au chapitre 1.12.

1.4. Autre dommage

Néant

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Pilote commandant de bord

- Age : 32 ans.
- Sexe : masculin.
- Unité d'affectation : 5^{ème} régiment d'hélicoptères de combat, basé à Pau (Pyrénées Atlantiques) - fonction dans l'unité : pilote commandant de bord.
- Formation :
 - qualification : brevet de pilote hélicoptère (1998) ;
 - école de spécialisation : école d'application de l'aviation légère de l'armée de terre (EA ALAT), base école de DAX ;
 - formations complémentaires : brevet de tireur canon de 20 mm sur SA 341 (2005) et brevet de commandant de bord sur hélicoptère léger (2006).

– Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types d'hélicoptères	Dont sur SA 341 F2	Sur tous types d'hélicoptères	Dont sur SA 341 F2	Sur tous types d'hélicoptères	Dont sur SA 341 F2
Total (h)	2062	515	120	68	18	17
Depuis le 02/12/07*	-	-	70	68	18	17

* date d'arrivée en République de Côte d'Ivoire

1.5.2. Pilote

- Age : 30 ans.
- Sexe : masculin.
- Unité d'affectation : 5^{ème} régiment d'hélicoptères de combat, basé à Pau (Pyrénées Atlantiques) - fonction dans l'unité : pilote hélicoptère.
- Formation :
 - qualification : brevet de pilote hélicoptère (2001) ;
 - école de spécialisation : école d'application de l'aviation légère de l'armée de terre (EA ALAT), base école de Dax ;
 - formation complémentaire : brevet de tireur canon de 20 mm sur SA 341 (2005).
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types d'hélicoptères	Dont sur SA 341 F2	Sur tous types d'hélicoptères	Dont sur SA 341 F2	Sur tous types d'hélicoptères	Dont sur SA 341 F2
Total (h)	1390	715	79	79	31	20
Depuis le 09/02/08*	-	-	-	-	31	20

* date d'arrivée en République de Côte d'Ivoire

1.5.3. Expérience commune de l'équipage

Cet équipage constitué a effectué une douzaine d'heures de vol depuis l'arrivée du pilote à l'EHM de Bouaké. Le 11 février 2008, il a connu un incident léger lors d'un entraînement au posé poussière².

Les deux membres d'équipages sont de même grade et ont de bonnes relations professionnelles.

² Heurt d'une pale du rotor principal par un objet non identifié au décollage

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de terre – aviation légère de l'armée de terre.
- Commandement organique opérationnel d'appartenance : force Licorne.
- Base aérienne de stationnement : escadrille d'hélicoptères mixte de Bouaké.
- Unité d'affectation : BATALAT Licorne.
- Type d'aéronef : Gazelle SA 341 F2 ;
 - configuration : Gazelle canon de 20 mm, hélicoptère équipé du dispositif anti-sable ;
 - armement : le canon 20 mm et le caisson de munitions ne sont pas avionnés au moment de l'événement ;
 - caractéristiques :

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis	Heures de vol depuis	Heures de vol depuis
Cellule	SA 341 F2	1251	8330,9	EMJ ³ : 3063,8	VP ⁴ : 337,7	OHV 200 ⁵ : 128,9
Moteur	ASTAZOU III C2	297/5064	6865,4	RG ⁶ : 1812,3		

1.6.1. Maintenance

L'entretien de l'hélicoptère est conforme au programme recommandé d'entretien (PRE) et au programme d'entretien imposé (PEI), en vigueur au sein de l'ALAT.

Les dernières opérations de maintenance effectuées sur l'aéronef sont :

- le 6 février 2008, la vérification de l'indication de température d'huile moteur effectuée à 3017 heures cellule (HC) ;
- le 8 février 2008, un vol de vérification du vieillissement du groupe turbo moteur (GTM) effectué à 1772 heures moteur (HM) ;
- le 10 mars 2008, une purge du régulateur suivi d'un contrôle en vol effectué à 3063,8 HC.

1.6.2. Performances

L'exploitation du manuel de l'équipage (MAT 8705) définit les performances suivantes :

- masse maximale au décollage : 1900 kg ;
- plafond en vol stationnaire hors effet de sol (HES) au moment de l'événement : 1250 mètres ZP ;
- plafond en vol stationnaire dans l'effet de sol (DES) au moment de l'événement : 1800 mètres ZP.

³ EMJ = opération d'entretien majeur.

⁴ VP = visite périodique.

⁵ OHV 200 = opération hors visite périodique.

⁶ RG = révision générale.

1.6.3. Masse et centrage

La masse au décollage calculée par l'équipage et inscrite sur le carnet « formules 10 » est de 1900 kg.

La masse au décollage calculée par le groupe d'enquête à partir de la fiche de pesée disponible dans le livret cellule de l'aéronef, et selon les équipements embarqués est de 1806 kg.⁷

L'accident s'est produit 42 minutes après le décollage. La consommation de carburant moyenne constatée sur le territoire pour ce type d'hélicoptère est de 170 litres/h⁸. La masse de l'hélicoptère au moment de l'accident était donc de 1717 kg.

Le centrage longitudinal était de 2,87 mètres, dans les normes.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : kérosène F34.
- Quantité de carburant au décollage : 350 litres.
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : 237 litres en considérant la consommation moyenne sur le territoire (cf. § 1.6.3).

Des prélèvements de kérosène ont été effectués sur l'aéronef, sur le camion ayant avitaillé l'hélicoptère, ainsi que sur le réservoir principal de stockage (bacs souples) du site de Bouaké. Ces échantillons ont été transmis au CEPr à Saclay pour expertises.

1.6.5. Autres fluides

Des prélèvements d'huile hydraulique, d'huile moteur, d'huile de la boîte de transmission intermédiaire (BTI) et de la boîte de transmission arrière (BTA) ont été réalisés et transmis au CEPr pour expertise.

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

Le prévisionniste météo du BATALAT a effectué le matin à 08 h 00 une prévision météorologique à partir des modèles de prévision mis à disposition par météo France, et par le CMOE de Taverny.

Les conditions prévues sur Bouaké pour le début d'après midi sont les suivantes :

- pas de phénomène significatif ;
- une visibilité supérieure à 6000 m ;
- une nébulosité de 1 à 4/8 de cumulus à 1500 ft ;
- une température maximale de 38 °C ;
- une humidité de 65 à 70% ;
- un vent faible du secteur sud ouest pour 5 kt.

1.7.2. Observations

Les observations effectuées à 13 h 00 sur l'aéroport de Yamoussoukro situé à 90 km du lieu de l'événement, et fournies par le bureau météo de l'aéroport, sont conformes aux prévisions : vent calme, température de 34 °C, humidité 67%.

⁷ Masse à vide de l'aéronef = 1326kg, masse admise d'un membre d'équipage équipé = 100kg.

⁸ La consommation moyenne habituellement employée pour les calculs est de 180 litres/h. La consommation moyenne constatée plus pénalisante en termes de masse et plus proche de la réalité a donc été retenue.

1.8. Aides à la navigation

L'équipage disposait d'un GPS de type GARMIN MAP 96, en fonctionnement au moment de l'événement.

1.9. Télécommunications

L'équipage était en communication avec les deux autres hélicoptères participant à l'exercice sur une fréquence interne (VHF MA). Il veillait également la fréquence allouée aux opérations de l'escadrille de Bouaké (VHF FM) et la fréquence d'auto information du théâtre d'opération dédiée aux informations de trafic de l'ensemble des aéronefs de la force Licorne (UHF).

1.10. Enregistreurs de bord

- Les hélicoptères de type Gazelle de l'aviation légère de l'armée de terre ne sont pas équipés d'enregistreurs d'accident, ni d'enregistreurs de paramètres.
- Le GPS GARMIN MAP 96 enregistre automatiquement la trace de la route réalisée (20 traces sauvegardées de 500 points chacune) et possède une mémoire interne permanente (mémoire statique). Selon les données du constructeur, le GPS donne la position avec une précision inférieure à 15 mètres dans 95% des cas et une vitesse avec une précision de 0,05 m/s.

1.11. Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.11.1. Constatations sur l'épave après l'impact

Une trentaine de minutes après l'impact, l'hélicoptère n'est pas encore totalement immergé. Il se présente sur le dos. La poutre de queue et l'arbre de transmission arrière sont rompus en avant du fenestron qui est manquant. (photo 3). Le fenestron est retrouvé par les plongeurs à environ 4 mètres de l'épave, au fond de l'eau. Moins d'une heure après l'accident, l'appareil est totalement immergé (photo 4).

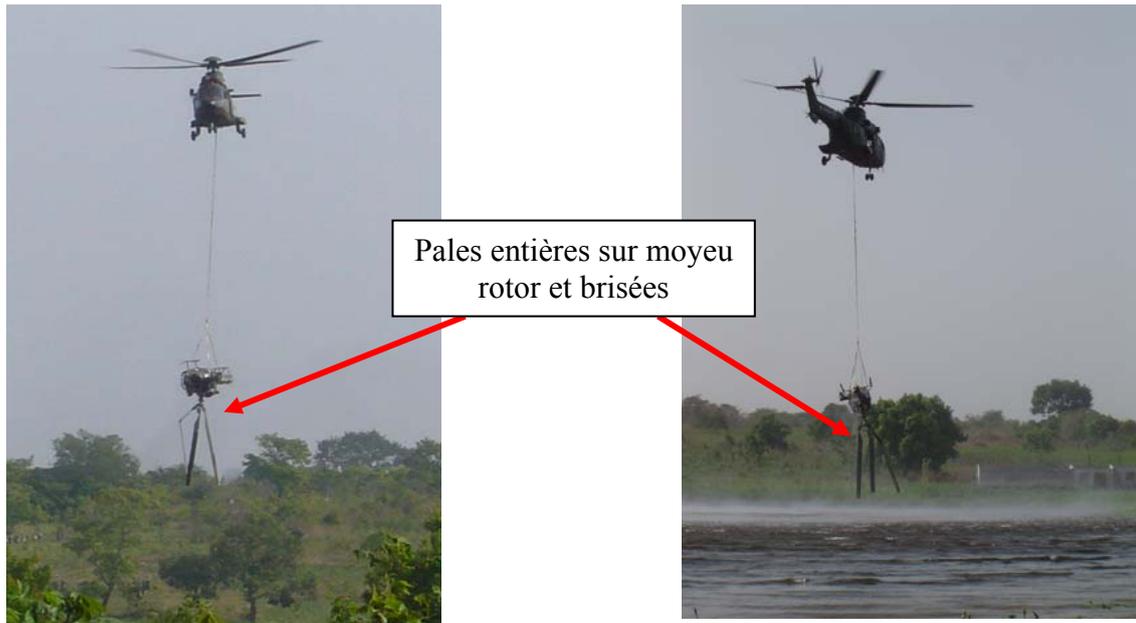
Lors de l'extraction de l'épave par hélicoptère, les trois pales principales sont toujours entières et en place sur le moyeu rotor. Deux d'entre elles sont rompues à hauteur du premier quart de leur longueur (photo 5).



3. Vue de l'épave 30 mn après l'accident



4. Vue de l'épave après immersion



5-6 Relevage de l'épave

1.11.2. Examen de l'épave après renflouement

L'épave est restée immergée quatre jours. Les dégradations dues aux opérations de relevage ont été suivies par le groupe d'enquête. Les constatations visuelles effectuées dès la sortie de l'épave ont permis de déterminer les détériorations liées à l'impact.

- Au niveau de la cellule :
 - rupture du support du groupe turbo moteur (GTM) ;
 - détérioration de la lunette de visée et de son support ;
 - rupture de la commande du pas général pilote.
- Au niveau du GTM : affaissement du palier arrière de la turbine.
- Au niveau du rotor principal :
 - déformation des biellettes de commande de pas ;
 - destruction des butées hautes ;
 - rupture de l'adaptateur dynamique (ou amortisseur de traînée) de la pale jaune ;
 - pales bleue et rouge rompues au premier quart de leur longueur ;
 - décollement avec ouverture des bords de fuite sur des longueurs variables selon les pales.
- Au niveau de la poutre de queue :
 - rupture de la structure à mi distance entre le palier arrière n° 3 et le palier intermédiaire n° 2 de l'arbre de transmission arrière (photo 7) ;
 - rupture de l'arbre de transmission à environ 50 cm en arrière de la rupture de la poutre de queue (photo 7) ;
 - rupture des deux câbles de commande en lacet de part et d'autre du palier intermédiaire ;
 - déconnexion et déformation des 2 tuyauteries hydrauliques au droit de leurs raccords respectifs situés juste en arrière du palier intermédiaire.
- Au niveau du fenestron (photo 9) :
 - disparition du carénage du sabot ;
 - enfoncement global du flanc droit du fenestron au niveau de la poignée de manutention ;
 - destruction du plan fixe horizontal et des dérives latérales.

- Au niveau du rotor anti-couple (photo 10) : déformations de la quasi-totalité des pales (fléchissements plus ou moins importants vers l'extrados) et impacts sur les bords d'attaque.

Par ailleurs, lors de l'examen du GTM, il a été constaté une érosion des aubes du compresseur axial du GTM.



7. Rupture de la poutre de queue



8. Vue générale de l'épave



9. Vue du fenestron



10. Vue du rotor anticouple

1.12. Renseignements médicaux et pathologiques

1.12.1. Pilote commandant de bord

- Le pilote commandant de bord était à jour de ses visites médicales d'aptitude et ne présentait pas, au moment de l'accident, d'affections ou troubles ayant pu altérer ses capacités au vol.
- Examens biologiques : les prélèvements, effectués à la demande de l'autorité judiciaire, n'ont rien révélé d'anormal.

1.12.2. Pilote

- Le pilote était à jour de ses visites médicales d'aptitude et ne présentait pas d'affections ou troubles ayant pu altérer ses capacités au vol.
- Examens biologiques : les prélèvements effectués, à la demande de l'autorité judiciaire, n'ont rien révélé d'anormal.

1.13. Incendie

Sans objet.

1.14. Survie des occupants

1.14.1. Évacuation de l'hélicoptère après immersion

Après avoir touché l'eau, l'hélicoptère est parti en rotation par la gauche (3 à 4 tours selon le pilote, 6 à 8 tours pour le PCB) avant d'impacter la surface. Selon le témoignage des deux membres d'équipage, l'eau a envahi instantanément l'intérieur de la cabine.

Dès la mise en rotation de l'appareil, le pilote, qui n'avait pas les commandes, a mis en application les savoir-faire appris au cours du stage de survie en mer (stage CESSAN). Il a largué sa porte, débranché son casque, déverrouillé son harnais et a pris une référence cabine en tenant le montant droit de la cabine. Après immersion, il a évacué l'hélicoptère, rejoint la surface et s'est accroché à un patin. Il a ensuite apporté de l'aide à son PCB qui semblait en difficulté en l'agrippant par son gilet de survie.

Le PCB s'est appliqué, pendant la phase de rotation, à contrôler au maximum l'attitude de l'hélicoptère. Il a également transmis un message d'alerte par radio « mayday, mayday, mayday, on est dans le lac ». Dès l'immersion, il avale de l'eau, et applique la gestuelle d'évacuation. Il prend appui pour sortir de l'aéronef, mais oublie de débrancher son casque qui le retient. Il arrache le cordon et rejoint la surface de l'eau en état de détresse respiratoire. Il ne se souvient ni du côté de l'appareil par lequel il est sorti, ni d'avoir largué sa porte.

L'équipage rejoint la berge à la nage avec difficulté en particulier pour le PCB qui recevra l'aide du pilote à plusieurs reprises. Le villageois, présent sur la digue et témoin de l'accident, viendra également aider l'équipage à progresser dans la zone marécageuse et à sortir de l'eau.

1.14.2. Organisation des secours

L'appel de détresse émis par le PCB a été reçu par le chef de patrouille à bord de la Gazelle Viviane à 13 h 40. Constatant visuellement l'absence de son ailier sur l'hippodrome d'attente, il fait demi-tour, prévient l'équipage de l'hélicoptère « Puma » et débute les recherches.

L'information est également transmise à l'escadrille sur le site de Bouaké qui dispose d'un Puma EVS médicalisé, dédié aux évacuations sanitaires au profit des unités de la force Licorne. L'équipage médicalisé se met d'initiative en alerte à 13 h 44.

Le pilote de la Gazelle leader aperçoit dans un premier temps la poutre de queue de la Gazelle canon émerger de l'eau, puis au cours des cercles de reconnaissance, il voit un des membres d'équipage (le pilote) lui faire des signes. Il constate alors que l'autre membre d'équipage (le PCB) est sur le dos et semble inanimé. Le chef de patrouille effectue alors une demande d'intervention du Puma EVS, guide les troupes au sol sur la zone, décide de déposer son passager au plus près, et se remet en surveillance au dessus de la zone.

A 13 h 50, le passager de la Gazelle leader transmet l'information : équipage indemne.

A 14 h 05, le commandant de bord du Puma engagé dans l'exercice, constate que le Puma EVS n'a toujours pas décollé et se pose d'initiative au BATALAT pour récupérer le médecin.

A 14 h 10, le médecin est sur la zone de crash au contact de l'équipage accidenté et effectue son bilan. Il rend compte de la situation aux autorités médicales de la force Licorne, et confirme l'absence de blessé au commandant d'escadrille qui s'activait auprès des autorités compétentes de la force Licorne pour faire décoller le Puma EVS.

A 14 h 50, l'équipage victime de l'accident est rapatrié sur le site de Bouaké en compagnie du médecin par l'hélicoptère Puma venu sur place.

1.15. Plan d'expertises

En l'absence d'enregistreurs d'accident ou de paramètres, et dans le but de permettre une meilleure compréhension de l'événement, les expertises suivantes ont été demandées :

- examen du GTM par le CEPr ;
- examen du régulateur par le CEPr, puis dans la mesure du possible passage sur le banc d'essais chez l'industriel Turboméca ;
- analyse des fluides (kérosène, huiles) par le CEPr ;
- afin de reconstituer le scénario de l'impact : étude par le CEPr du mode de rupture de la poutre de queue et de la transmission arrière, détermination de la nature des endommagements constatés sur le fenestron et le rotor anti couple ;
- récupération des données enregistrées dans les mémoires du GPS afin de reconstituer la trajectoire finale avec des données chiffrées. Cette expertise a été demandée à la division enregistreurs de vol du bureau d'enquêtes et d'analyses (BEA).

Les expertises du GTM, du régulateur et du GPS nécessitaient des délais d'intervention les plus brefs possibles compte tenu de l'immersion prolongée de l'appareil. Le GTM, placé sous scellés judiciaires, est arrivé au CEPr le 10 avril 2008. Les prélèvements de fluides ainsi que le GPS, également placés sous scellés judiciaires, sont arrivés le 4 avril 2008 au BEAD-air. Les ensembles cellule, poutre de queue et rotor principal sont arrivés au BEAD-air le 2 juin 2008. Les expertises n'ont pu débuter, sur autorisation de l'autorité judiciaire, que le 24 juin 2008. Les conclusions concernant l'expertise du GPS ont été transmises au directeur d'enquête technique le 12 décembre 2008.

1.16. Renseignements sur les organismes

L'escadrille d'hélicoptères mixtes (EHM) de Bouaké est composée d'hélicoptères Puma SA 330, de Gazelle Viviane SA 342 et de Gazelle canon SA 341 F2. Les équipages Gazelle volent indifféremment sur les deux types d'hélicoptères légers lorsque leurs qualifications le permettent. L'emploi opérationnel des hélicoptères légers de l'EHM est strictement limité par le commandement de la force Licorne. L'activité aérienne de cette unité est donc réduite à des exercices d'entraînement au profit des unités d'infanterie, dans une zone circonscrite à une quinzaine de kilomètres de rayon autour des installations de l'escadrille. Les appuis feu hélicoptère (AFH) de jour et de nuit, les formations d'orienteurs marqueurs baliseurs (OMB) et les liaisons entre Bouaké et Abidjan, lieu d'implantation du BATALAT, constituent l'essentiel de cette activité. Au sein du BATALAT Licorne, la durée des séjours des équipages sur hélicoptères légers est généralement de 4 mois.

1.17. Renseignements supplémentaires

Le témoin de l'accident est un villageois, agriculteur et propriétaire de l'étang. Il était présent sur la digue au moment de l'événement et a porté assistance à l'équipage. Ayant l'habitude de voir passer les hélicoptères à proximité de cet étang, il a fait une description précise aux enquêteurs de la trajectoire finale de l'appareil.

2. ANALYSE

Lors de l'approche menée sur un plan d'eau, le pilote commandant de bord, aux commandes de l'hélicoptère de type Gazelle, perd en courte finale le contrôle de son aéronef qui percute l'eau et sombre.

L'objet de cette analyse est de déterminer les causes qui ont conduit à cette perte de contrôle. Les faits recueillis au cours de l'enquête permettent d'écarter toute cause d'origine environnementale.

L'étude portera dans un premier temps sur la détermination du scénario de l'impact, en s'appuyant sur les résultats des différentes expertises et investigations réalisées. L'analyse portera dans un second temps sur l'évaluation des hypothèses concernant :

- les causes d'origine technique ;
- les causes relevant du domaine des facteurs humains.

2.1. Le scénario de l'impact

2.1.1. Analyse des endommagements de la cellule et des organes de transmission de puissance

2.1.1.1. Mode de rupture de l'ensemble poutre de queue, rotor anti-couple

Les indices relevés sur les éléments de la poutre de queue et du rotor anti-couple ont permis d'établir avec certitude la séquence des endommagements (cf. annexes 1, 2 et 3).

Le premier endommagement a été la rupture en torsion de l'arbre de transmission de puissance arrière, dans sa section la plus vulnérable, au droit des rivets d'assemblage de l'arbre long en alliage léger avec son manchon cannelé en acier. Les marquages et autres singularités qui caractérisent cette cassure attestent que la rupture est la conséquence d'un couple résistant excessif apparu sur le rotor anti-couple alors que la boîte de transmission délivrait de la puissance. Ce couple résistant est la résultante de l'immersion au moins partielle du rotor anti-couple dans l'eau. Les pales du rotor arrière ont en effet subi un violent accroissement de pression par, d'une part le flux d'eau aspiré dans la veine du fenestron, et d'autre part par leur interférence avec le carénage de tôle de la face amont du moyeu rotor qui s'est détaché et est passé à travers le rotor. Ces constatations viennent corroborer les témoignages de l'équipage qui a entendu un bruit de type « mixeur » correspondant à l'immersion du rotor anti-couple.

Les expertises ont par ailleurs montré que toutes les commandes de vol en lacet (câbles de commande et tuyauteries hydrauliques) étaient intactes au moment où le RAC a été immergé, et que la partie avant de l'arbre de transmission était toujours entraînée en rotation par la BTP.

Ensuite, privé de l'efficacité de son rotor anti-couple, l'hélicoptère est parti progressivement en rotation sur son axe de lacet, vers la gauche, dès lors que le fenestron est sorti de l'eau par l'action de remise à plat du pilote. Les tentatives de contrôle de cette rotation en lacet⁹ par le pilote confortent ce scénario de perte d'efficacité du rotor anti-couple.

L'hélicoptère a effectué des révolutions sur lui-même jusqu'à ce que la partie inférieure droite de la dérive heurte la surface de l'eau. Ce choc a provoqué l'enfoncement de cette partie puis a entraîné la rupture en flexion latérale de la poutre de queue. L'arbre de transmission qui n'était plus sollicité en flexion est resté linéaire sur sa longueur restante.

⁹ Le palonnier droit a été retrouvé en butée d'enfoncement.

2.1.1.2. Analyse des endommagements du rotor principal

Concernant l'ensemble rotor principal, il a été observé que la boîte de transmission principale (BTP) n'avait pas été endommagée et que la cinématique de la tête rotor était pratiquement intacte. Lorsque les pales principales ont heurté la surface de l'eau, elles se sont rompues au quart de leur envergure par une déformation en battement, sans délaminage au niveau des longerons, et avec un décollement partiel du bord de fuite. Cette déformation en battement est compatible avec une énergie moindre du rotor (une partie de l'énergie a pu en effet être transmise à la cellule lors de l'accélération de la rotation en lacet) et avec l'angle d'impact des pales dans l'eau.

Les endommagements des ferrures de fixation des adaptateurs dynamiques résultent de l'inertie des pales lorsque le rotor a été freiné brusquement par la première pale qui a impacté l'eau.

Conclusion :

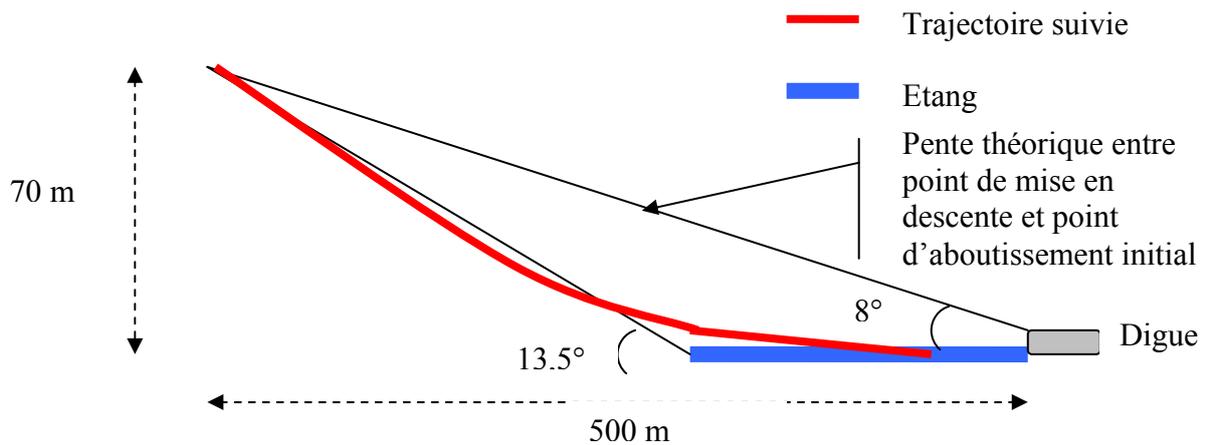
- les expertises et analyses effectuées sur les différents organes de transmission de puissance n'ont montré aucune trace de dysfonctionnement antérieure à l'accident ;
- la rupture de l'arbre de transmission arrière est la conséquence d'une immersion au moins partielle du rotor anti-couple, et est à l'origine de la perte de contrôle en lacet de l'hélicoptère.

2.1.2. Reconstitution de la trajectoire finale

Il s'agit de déterminer les paramètres de présentation et de déroulement de l'approche, ainsi que les actions du pilote aux commandes, qui permettront de poursuivre l'analyse des causes qui ont conduit à l'immersion du rotor anti-couple dans l'eau.

La reconstitution de la trajectoire a été réalisée en recoupant les informations issues des restitutions en vol effectuées par les membres du groupe d'enquête, de l'analyse des données enregistrées dans le GPS présent à bord au moment de l'événement, des témoignages de l'équipage et du témoin visuel de l'accident.

Lorsque le pilote commandant de bord prend les commandes de l'hélicoptère, les paramètres de vol sont les suivants : une vitesse indiquée de 170 km/h, une altitude de 337 m, soit une hauteur sol de 70 m. Au cours du virage d'alignement sur l'axe de l'étang, il réduit la vitesse vers 130 km/h et maintient une hauteur sol constante (il concède pour cela une perte d'altitude de 20 m environ). Il débute la descente à environ 500 m du point d'aboutissement initialement choisi (la digue) sous un angle fort (taux de chute de 2 hm/mn) avec une vitesse de 110 km/h en réduction vers 80 km/h. Il poursuit la descente et aborde le début de l'étang à une hauteur comprise entre 10 et 15 m /sol. Le taux de chute est alors à environ 1,2 hm/mn. Aux abords de l'étang, le point d'aboutissement de l'approche est avancé de 20 à 30 mètres. Le PCB accentue la réduction de vitesse en affichant une assiette à cabrer de 10°. La composante de vent arrière est d'environ 3 à 5 kt (6 à 9 km/h). Il concède concomitamment une perte de hauteur de 5 mètres environ. A cet instant, la vitesse est de 40 à 50 km/h environ, le taux de chute est inférieur à 1 hm/mn (toujours en diminution), et la hauteur est de 5 m/sol. Le PCB augmente encore l'assiette à cabrer (valeur non définie précisément mais approchant 30°), puis effectue une première mise en puissance dosée. Il est alors surpris par la proximité de l'eau et par une sensation d'inefficacité de cette action au pas général. Il tire une deuxième fois sur le pas général pour afficher la puissance maximale. La vitesse est alors estimée à 20 km/h environ. C'est à cet instant qu'il entend le bruit de « type mixeur » correspondant à l'immersion au moins partielle du fenestron.



Représentation schématique de la trajectoire dans le plan vertical

2.2. Hypothèse : la défaillance du moteur

L'équipage a rapporté que l'hélicoptère n'avait pas réagi à l'application de pas (jusqu'à la 2^{ème} butée) réalisée par le pilote commandant de bord, et qu'il avait poursuivi sa descente. L'hypothèse d'un dysfonctionnement de la motorisation (GTM ou accessoires du GTM) a donc été étudiée.

2.2.1. Le groupe turbo moteur GTM

Les expertises réalisées par le CEPr sur le moteur Astazou III C2 n° 297/5064 ont montré que celui-ci était en bon état de fonctionnement avant l'accident. Tous les endommagements constatés sont la conséquence de la corrosion consécutive au séjour dans l'eau (aggravé par le délai d'attente avant l'expertise), ou sont la conséquence du choc à l'impact comme l'affaissement du palier arrière. L'érosion des aubes du compresseur axial, constatée sur site, était dans les normes définies par le constructeur et ne pouvait engendrer une diminution de la puissance délivrée par le GTM. Une érosion importante des aubes du compresseur axial n'est susceptible que d'augmenter la sensibilité de la turbine au pompage par perturbation du flux d'air entrant. Dans le cas présent un tel phénomène n'a pas été constaté.

2.2.2. Le régulateur

Le régulateur était en bon état et a été testé sur un banc équipement chez l'industriel Turboméca. Il a répondu aux spécifications minimales de fonctionnement et ne peut être mis en cause dans l'accident.

2.2.3. La qualité du kérosène employé

Les expertises effectuées sur les échantillons de kérosène prélevés sur l'appareil, le camion avitailleur, et les bacs de stockage présents sur le site de Bouaké ont révélé un pouvoir calorifique inférieur (PCI) calculé proche de la norme basse de spécification préconisée par le service des essences des armées. La valeur du PCI calculée sur les échantillons est de 42,928 MJ/kg, alors que la spécification du SEA est de 42,8 MJ/kg. Une étude sur l'impact d'un tel résultat sur les performances du moteur (puissance délivrée) a été réalisée par le constructeur (Turboméca).

Elle a montré que seule une augmentation de la consommation d'environ 0,4% pouvait être entraînée par le PCI observé, inférieur à la valeur optimale du PCI définie par le constructeur¹⁰.

L'hypothèse selon laquelle, un dysfonctionnement de la motorisation ou un manque de puissance induit par une mauvaise qualité du kérosène employé a provoqué ou n'a pas permis de contrer l'enfoncement de l'hélicoptère ressenti en courte finale, est REJETEE.

2.3. Les causes relevant du domaine des facteurs humains

2.3.1. Hypothèse : des erreurs de pilotage dans la conduite de l'approche ont contribué à l'événement

Les paramètres de présentation pour l'approche étaient les suivants : vitesse 130 km/h, hauteur sol de 70 mètres. L'angle de descente défini par le point de mise en descente et la digue approchait les 8 degrés, ce qui correspond à la définition d'un angle fort. La composante de vent arrière était de 6 à 9 km/h.

L'ensemble de ces paramètres imposait la réalisation d'un mécanisme d'approche « classique » dite de précaution dont les caractéristiques sont : le maintien d'un plan de descente constant, un taux de chute stabilisé idéalement à 1,5 hm/mn, une vitesse air comprise entre 60 et 80 km/h, la mise en puissance préventive de la puissance nécessaire au stationnaire dans l'effet de sol avec l'affichage en courte finale d'une assiette correspondant à l'assiette du stationnaire. Par ailleurs, la composante de vent arrière accentuait la nécessaire anticipation de cette mise en puissance.

Le mécanisme de l'approche réalisée au moment de l'événement se rapproche plus de celui d'un mécanisme de pilotage tactique : la perte de la hauteur maximale avant la courte finale, l'arrêt de la machine en profitant de l'effet de flare (affichage d'une assiette à cabrer suivi d'une mise en puissance et d'une remise à plat).

L'énergie initiale (vitesse avant l'affichage d'une assiette à cabrer) était cependant insuffisante pour garantir une bonne efficacité de l'effet de flare. La puissance disponible et le rendement aérodynamique de la Gazelle SA 341 canon dans les conditions du moment (température élevée, vent arrière) ne permettaient pas de compenser cette moindre efficacité de l'action à cabrer. La surface de l'eau a également probablement diminué l'efficacité de l'effet de sol. L'ensemble de ces facteurs peut expliquer la sensation ressentie d'enfoncement et l'inefficacité de la mise en puissance réalisée.

L'application d'un mécanisme de pilotage inadapté aux caractéristiques techniques et environnementales, peut être expliquée par deux erreurs :

- Une erreur de capture sur le mécanisme de pilotage à appliquer (tactique ou classique) :
On parle d'erreur de capture lorsqu'il est fait appel à des schémas cognitifs ou psychomoteurs les plus fréquemment utilisés. Dans le cas précis, dans les unités de l'ALAT, les vols d'entraînement spécifiques au pilotage classique sont de plus en plus rares et très dispersés dans le temps. Les mécanismes de pilotage classique sont donc peu utilisés. De ce fait, les connaissances associées aux principes et procédures du pilotage de base d'un hélicoptère ont tendance à s'estomper. En revanche, l'essentiel des vols réalisés revêtent un caractère opérationnel et donc une connotation tactique.

Les équipages appliquent donc beaucoup plus fréquemment les mécanismes associés. Le contexte de la mission, la volonté d'entretenir un savoir-faire technique dans ce contexte, exposaient donc le pilote aux commandes à une erreur de capture.

¹⁰ Dans la documentation technique Turboméca, il est spécifié des performances minimales garanties à condition ISA pour un carburant ayant un PCI supérieur à 43,110 MJ/kg.

- Biais de similarité sur les performances et le comportement des Gazelle SA 341 et SA 342 :
Les équipages de l'ALAT servant sur hélicoptères légers, sont qualifiés dans leur grande majorité sur les deux types de Gazelle SA 341 et SA 342. Les escadrilles équipées de Gazelle sont aujourd'hui des escadrilles mixtes possédant ces deux types d'hélicoptères. Les équipages sont donc amenés à voler plus fréquemment sur les deux types. Si dans une approche globale, les similarités sont nombreuses et le passage d'un type à l'autre ne posent pas de problème d'exploitation, les différences de performances (motorisation et rendement voilure) et donc de comportement dans certaines phases de vol ne sont pas anodines. Ainsi la Gazelle SA 342 Viviane possède une motorisation et un rendement de la voilure supérieurs à la Gazelle SA 341 F2 canon qui la rendent moins vulnérable à la configuration de vol induit lors de l'approche. Le groupe d'enquête a observé auprès de plusieurs équipages une forme de « gommage » de ces différences, et en tout cas une certaine banalisation des caractéristiques de la « Gazelle » SA 341 F2 Canon, en particulier dans ses faiblesses ou sensibilités (à faible vitesse, vent arrière notamment). Le sentiment de ne pas avoir, sur le théâtre d'opérations, plus de problèmes de limite de puissance avec les SA 341 a également été observé chez l'équipage concerné par l'événement.
Dans ce cas, on peut parler de biais de similarité qui entraîne dans le temps une dilution des connaissances spécifiques à chaque type, et qui permet à terme l'association des capacités maximales aux deux types.

L'hypothèse selon laquelle, une erreur de mécanisme de pilotage (erreur de capture) associée à une erreur de connaissance (biais de similarité) a contribué à l'événement, est certaine.

2.3.2. Hypothèse : une erreur de perception de la hauteur a contribué à l'événement

Les conditions météorologiques au moment de l'événement (vent faible, pas de nébulosité), et les conditions d'éclairement (soleil réfléchissant sur la surface de l'eau) ont contribué à produire un effet miroir sur l'étendue d'eau. Dans ces conditions, en approche, la perception de la hauteur sol et du défilement sont particulièrement difficiles tant que les effets du souffle du rotor sur l'eau ne sont pas visibles. L'absence de repère (surface uniforme) peut provoquer des illusions sensorielles. Ce phénomène a été ressenti par les enquêteurs lors d'un vol de reconstitution effectué sur site dans des conditions d'éclairement et de vent similaires. De surcroît, l'assiette à cabrer, en augmentation jusqu'à environ 30°, a contraint le pilote aux commandes à abandonner les repères qu'il détenait probablement vers l'avant sur la digue, et à rechercher en courte finale les informations de défilement et de hauteur sur la surface de l'eau, à l'aide des vaguelettes formées par le souffle du rotor. La difficulté de perception de la hauteur a donc probablement retardé l'action de remise à plat de l'hélicoptère et les actions du pilote au pas général. Cette difficulté transparait également dans le témoignage du pilote commandant de bord qui précise « avoir été surpris par la proximité de l'eau ». En outre, le réglage préventif de l'index de la sonde altimétrique sur la valeur de la hauteur du stationnaire à effectuer sur l'eau n'a pas été envisagé par l'équipage. L'index de la sonde était réglé en dessous de zéro. Une erreur de perception de la hauteur a donc probablement contribué à l'immersion d'une partie du rotor anti couple.

L'hypothèse selon laquelle, une erreur de perception de la hauteur sol liée à une illusion sensorielle par effet miroir sur la surface de l'eau a contribué à l'événement, est probable.

2.3.3. Hypothèse : une défaillance de communication au sein de l'équipage a contribué à l'événement

Lorsque le commandant de bord annonce au pilote qu'il prend les commandes, il ne précise pas son plan d'action, ne dévoile pas ses intentions exactes et ne fixe pas de répartition des tâches. Il entre alors dans un mode de communication implicite (ce qui est déduit ou deviné du contexte de la situation, de l'attitude ou des mots employés). Il n'y a plus de mode de communication explicite (ce qui est dit ou montré). Le pilote devine effectivement que le commandant de bord va mener une approche sur le plan d'eau. Mais il n'en connaît ni l'aboutissement ni la méthode exacte. C'est ainsi qu'au cours de l'approche, il annonce à son commandant de bord les éléments de sécurité qui lui apparaissent importants dans l'environnement du plan d'eau comme la présence de personnes sur la digue ou la présence d'oiseaux en entrée de l'étang et sur la droite de l'axe d'approche. Mais chaque membre d'équipage développe au cours de l'approche sa propre représentation mentale de la situation. Le commandant de bord change son point final d'approche sans avertir le pilote. En courte finale, lorsque le pilote perçoit l'inadéquation entre le taux de chute ressenti et la hauteur sol, il tente une intervention au pas général mais s'aperçoit que celui-ci est au maximum de son débattement (2^{ème} butée). L'utilisation du seul mode de communication implicite n'a donc pas permis la mise en place d'une stratégie commune de contrôle des paramètres (vitesse, taux de chute, hauteur), ce qui a fragilisé le processus de détection ou de récupération des erreurs au sein de l'équipage.

L'hypothèse selon laquelle, un manque de communication a entraîné un retard de perception de la situation et de détection de l'erreur et a contribué à l'événement, est certaine.

2.3.4. Hypothèse : une prise de décision sous influence a contribué à l'événement.

Au cours de la mission, après une dizaine de minutes sur le circuit d'attente, le commandant de bord aperçoit sur sa gauche un plan d'eau et prend la décision d'effectuer une approche sur celui-ci. Il envisage à l'issue une remise de gaz pour rejoindre sa place dans l'hippodrome avant le déclenchement de la phase suivante de l'exercice d'appui feu.

Le choix du plan d'eau a été justifié par le pilote commandant de bord par des critères d'espace disponible et libre d'obstacles ainsi que pour des critères de sûreté. Cette prise de décision, qui pourrait être qualifiée de décision d'opportunité, a été influencée par deux éléments principaux : le contexte général de la mission et une appréciation erronée des risques associés à l'action envisagée.

2.3.4.1. Le contexte général de la mission

Toute décision traduit un choix qui est fait entre deux ou plusieurs possibilités applicables à une situation donnée. Dans le cas de l'événement, il s'agit de comprendre quelle a pu être pour le pilote commandant de bord, l'analyse de la situation (ou sa représentation mentale de la situation) pour qu'il envisage la possibilité d'effectuer une approche plutôt que de rester sur le circuit d'attente, au sein de la patrouille.

Tout d'abord, selon les témoignages recueillis par le groupe d'enquête, les équipages ressentent un manque d'intérêt pour les missions réalisées au profit de la force Licorne, qui se limitent à des exercices d'entraînement tactiques basiques et répétitifs au profit des troupes au sol. De surcroît, ces exercices sont confinés dans une zone très restreinte d'une quinzaine de kilomètres de rayon autour de Bouaké. Il existe donc un décalage réel entre les attentes opérationnelles d'équipages présents sur un théâtre d'opérations extérieures, et l'emploi effectif des hélicoptères. Ce décalage ressenti peut induire un sentiment de frustration et d'ennui chez des personnels dynamiques et motivés.

Dans le cas précis, l'exercice du 10 mars est, en tous points, similaire à celui qui s'est déroulé quatre jours auparavant. La raison de cette reconduction intégrale de l'exercice n'est pas seulement liée à la notion de «drill»¹¹ des troupes au sol, mais répond à un critère de facilité dans la préparation de l'exercice pour le chef de section. Celui-ci a en effet appris tardivement le matin même la programmation de l'exercice et a donc souhaité la reconduction d'un exercice déjà réalisé. Dans ce contexte, le pilote commandant de bord, qui arrive en fin de mandat, n'échappe pas à ce sentiment d'ennui et de frustration. La recherche d'un intérêt à la mission a donc été un moteur dans le mécanisme de prise de décision du commandant de bord. L'attente prolongée entre les deux phases de l'exercice a été un facteur déclenchant de cette recherche d'intérêt. La réalisation d'une approche « d'opportunité » présentait, à ses yeux, des critères techniques de pilotage qui lui permettaient d'entretenir ses savoir-faire et lui donnait le sentiment de valoriser le vol qu'il entreprenait.

2.3.4.2. La sous-estimation des risques

L'appréciation des risques repose sur la prise en compte de deux grands types de risques :

- le risque externe ou objectif, qui traduit la probabilité d'occurrence et de gravité d'un accident dans une situation donnée (trajectoire choisie, fonctionnement de la machine, conditions environnementales) ;
- le risque interne ou subjectif (ou encore risque de faire une erreur), qui traduit la possibilité d'un échec dans la réalisation de la solution par manque de savoir-faire de l'opérateur ou par manque de temps.

Les pilotes expérimentés ont une tendance naturelle à être sûr de leur savoir-faire, et donc à minimiser le risque d'échec dans leurs actions qui leur paraissent basiques comme par exemple une approche. Dans le cas présent, le pilote commandant de bord n'a donc pas envisagé les possibilités d'erreurs (développées au § 2.3.1) dans la conduite de son approche, qu'il considérait comme une approche classique sans difficulté technique particulière. Les performances limitées de la Gazelle SA 341 F2 canon, en particulier avec les conditions atmosphériques présentes sur le territoire, ont également été considérées comme parfaitement maîtrisées.

Concernant l'évaluation du risque externe, l'équipe d'enquête technique a identifié plusieurs éléments qui pouvaient accroître le risque d'accident. En effet, la composante de vent arrière (même faible) sur l'axe d'approche, la difficulté d'apprécier la hauteur sur une étendue d'eau uniforme (cf. § 2.3.2), et la diminution possible de l'effet de sol en courte finale sur une telle surface, sont apparues comme des éléments techniques objectifs d'augmentation du risque. Ces éléments ont été sous-estimés par le pilote aux commandes.

**La prise de décision du pilote commandant de bord de mener une approche d'opportunité sur un plan d'eau est intervenue dans le mécanisme de l'accident.
L'hypothèse selon laquelle, le contexte général de la mission associé à une sous-évaluation des risques a pu influencer cette prise de décision, est certaine.**

¹¹ Le « drill » correspond à la répétition d'un exercice afin d'en acquérir les automatismes.

3. CONCLUSION

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

3.1.1. Contexte et préparation de la mission

De manière générale, les vols d'entraînement spécifique aux procédures et mécanismes du pilotage classique ou tactique sont de plus en plus espacés dans le temps, et sont fortement soumis, en métropole, aux contraintes de disponibilité des appareils et de potentiel aérien alloué.

Les équipages qualifiés sur hélicoptères légers sont affectés dans des escadrilles mixtes (SA 341 – SA 342) et sont amenés à voler indifféremment sur ces deux types. C'est également le cas, pour l'équipage concerné à l'escadrille d'hélicoptères mixte de Bouaké.

L'activité opérationnelle du BATALAT et donc de l'EHM de Bouaké est routinière et rythmée par la réalisation d'exercices dans un espace contraint (rayon de 15 kilomètres autour de Bouaké).

Le vol s'inscrit dans le cadre d'un de ces exercices d'entraînement, essentiellement destiné aux troupes au sol tout en permettant le maintien en condition opérationnelle pour les équipages de l'EHM de Bouaké. Cet exercice est reconduit pour la 2^{ème} fois, selon le même scénario, sur un terrain identique, et avec les mêmes équipages. Il est inscrit aux ordres de vol après validation des autorités compétentes.

3.1.2. Déroulement du vol et trajectoire finale

L'hélicoptère Gazelle SA 341 F2 n° 1251 était entretenu conformément au programme de maintenance en vigueur au sein de l'ALAT. Tous ses systèmes étaient intègres. Il ne présentait pas d'anomalie technique de fonctionnement au moment de l'événement.

Au cours de l'exercice, le pilote commandant de bord a pris les commandes de l'hélicoptère et a mené une approche sur un étang. Il s'est présenté sur l'axe d'approche avec des paramètres de vol se rapprochant de ceux d'une approche dite « classique ». L'approche a été menée avec une composante de vent arrière de 3 à 5 kt (6 à 9 km/h).

Les conditions météorologiques et aérologiques étaient bonnes.

En très courte finale, le fenestron a impacté l'eau et a été en partie immergé. Le couple résistant induit a entraîné la rupture de l'arbre de transmission. Privé de l'efficacité du rotor anti couple, l'hélicoptère est parti en rotation incontrôlée par la gauche. Le fenestron s'est désolidarisé de la poutre de queue pendant cette phase de rotation lors d'un choc de la dérive inférieure avec la surface de l'eau. Le pilote commandant de bord a pris la décision de plaquer l'hélicoptère en mettant de l'inclinaison à gauche. Après l'impact, l'hélicoptère s'est renversé et a sombré.

3.1.3. Déroulement des opérations de secours

Dès la transmission du message de détresse par le pilote commandant de bord de la « Gazelle » accidentée, l'information a rapidement été répercutée aux différents échelons concernés de la chaîne de secours.

L'arrivée rapide du médecin sur le site du crash est uniquement due à la réactivité et à l'initiative des personnels engagés dans l'exercice. L'hélicoptère médicalisé dédié aux évacuations sanitaires sur le territoire n'a pas été engagé par les autorités sanitaires de la force Licorne.

3.2. Causes de l'événement

Suite aux différentes investigations menées au cours de l'enquête, les causes relevant des domaines technique et environnemental ont pu être écartées.

Le mécanisme de l'accident se situe donc dans le domaine des facteurs humains. Les causes qui ont pu être identifiées sont les suivantes :

- le niveau d'engagement opérationnel sur le théâtre est ressenti comme insuffisant par les équipages. L'activité aéronautique routinière suscite un manque d'intérêt pour les missions réalisées. Ce ressenti est intervenu dans la prise de décision du pilote commandant de bord de profiter d'un temps mort dans le déroulement de l'exercice pour entretenir ses savoir-faire techniques ;
- la sous-estimation des risques associés à l'action projetée (approche sur un plan d'eau, avec une composante de vent arrière) a également contribué à la décision de mener une approche d'opportunité ;
- une erreur de perception de la hauteur et du défilement par rapport au sol a probablement entraîné un retard dans les actions de remise à plat contribuant ainsi à l'immersion du rotor anti-couple ;
- l'application d'un mécanisme de pilotage se rapprochant de celui du vol tactique, à une configuration d'approche nécessitant la réalisation d'une approche classique (dite « de précaution »), aggravée par un raccourcissement volontaire de la trajectoire finale (conséquence de la modification par anticipation du point final d'approche) a provoqué l'enfoncement ressenti de l'appareil en courte finale. Parallèlement, la sous-estimation des particularités de la Gazelle SA 341 canon a probablement contribué au mécanisme de production de cette erreur ;
- le défaut de communication au sein de l'équipage a annihilé le processus de détection et de gestion de l'erreur au sein de l'équipage.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

4.1.1. Le niveau d'activité sur un théâtre d'opérations

La prise de décision du pilote commandant de bord de mener une approche hors du cadre de l'exercice a été influencée par un sentiment de routine et de manque d'intérêt pour les missions réalisées.

Sans ignorer l'importance des caractéristiques tactiques et stratégiques d'un théâtre d'opérations, il apparaît important de ne pas sous-estimer les conséquences sur la sécurité des vols d'une activité opérationnelle limitée ou routinière sur des périodes significatives.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à

l'armée de terre, d'étudier les possibilités de limiter l'impact des contraintes opérationnelles sur la nature et le niveau de l'activité aérienne des unités engagées dans les opérations extérieures, ou de réfléchir le cas échéant à une diminution de la durée des mandats pour les équipages.

4.1.2. L'entraînement des équipages

La dilution des connaissances et savoir-faire concernant les mécanismes et les fondamentaux du pilotage classique et du pilotage tactique est intervenue dans le mécanisme de l'accident. Considérant l'expérience de ce PCB, l'existence de ce type de lacunes chez d'autres équipages ne peut être exclue.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à

l'aviation légère de l'armée de terre :

- de mener une étude sur l'occurrence de telles lacunes parmi les équipages ;
- le cas échéant d'étudier l'adéquation entre le niveau requis des équipages, le niveau d'entraînement et les contraintes opérationnelles et techniques.

De plus, l'assimilation possible des performances des deux types de Gazelle SA 341 et SA 342 est apparu comme un facteur de risque supplémentaire.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à

l'aviation légère de l'armée de terre de mener une étude sur la pertinence de la dotation mixte de certaines escadrilles légères.

4.1.3. La communication au sein de l'équipage

La communication au sein de l'équipage a été défaillante, et n'a pas permis d'alimenter le processus de détection et de récupération des erreurs. La formation *cockpit resources management* (CRM) sensibilise les équipages aux fragilités et contraintes dans le domaine des facteurs humains. Elle doit les aider à conserver une bonne synergie en dépit de ces fragilités. Cette formation apparaît indispensable et nécessite d'être entretenue de façon périodique. Pour chaque personnel navigant, la durée souhaitable entre deux recyclages est évaluée par l'IMASSA à 2 ou 3 ans.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à

l'aviation légère de l'armée de terre :

- de poursuivre l'effort de formation de ses personnels dans ce domaine, et d'initier un processus de recyclage CRM au profit des personnels navigants ;
- d'utiliser l'opportunité de ce rapport pour sensibiliser les équipages sur la réalité des pièges de type « facteurs humains », et sur les conséquences d'un manque de communication.

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

4.2.1. L'organisation des secours

La chaîne de déclenchement du Puma EVS comporte différents échelons qui n'ont pas autorisé le décollage en première intention de ce moyen médicalisé. Or le danger de noyade était réel, en particulier pour le pilote commandant de bord dont nul ne connaissait le niveau réel de détresse respiratoire. L'initiative et la réactivité des personnels du BATALAT ont toutefois permis l'arrivée rapide du médecin sur les lieux de l'accident, et donc la transmission d'un bilan éclairé.

Dans ce genre d'événement, la transmission rapide de renseignements fiables pour alimenter la chaîne décisionnaire est très difficile à réaliser. Il semble donc souhaitable d'activer les moyens médicalisés en première intention.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande au

commandement de l'opération Licorne d'étudier en liaison avec la direction du service de santé des armées une procédure spécifique d'activation des moyens aériens médicalisés en cas d'incident ou d'accident aérien.

4.2.2. L'utilisation de la sonde altimétrique

Au cours de l'enquête, il a été observé que la sonde altimétrique faisait l'objet d'une procédure d'emploi spécifique en vol tactique. Cette procédure, apprise en école, consiste à couper la sonde lors du passage de la ligne d'engagement pour des raisons de sûreté. Cette procédure est appliquée diversement par les équipages. Dans le cas présent, alors que la phase de vol n'était pas une phase de vol tactique, la sonde était sur marche mais l'index réglé à zéro. Elle pouvait donc donner des indications de hauteur mais ne pouvait pas alerter l'équipage d'un danger immédiat.

Il a également été constaté lors du vol de restitution, avec les conditions d'éclairage du moment, la difficulté de perception de l'allumage du voyant d'alarme. Le couplage de la sonde à une alarme sonore serait donc utile à la sécurité dans de telles conditions d'éclairage, et dans les cas où la charge de travail est importante et donc lorsque les ressources cognitives sont moindres.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à

l'aviation légère de l'armée de terre d'étudier une procédure d'emploi de la sonde altimétrique selon les configurations de vol de jour, et d'étudier la possibilité de coupler la sonde altimétrique à une alarme sonore.

ANNEXES

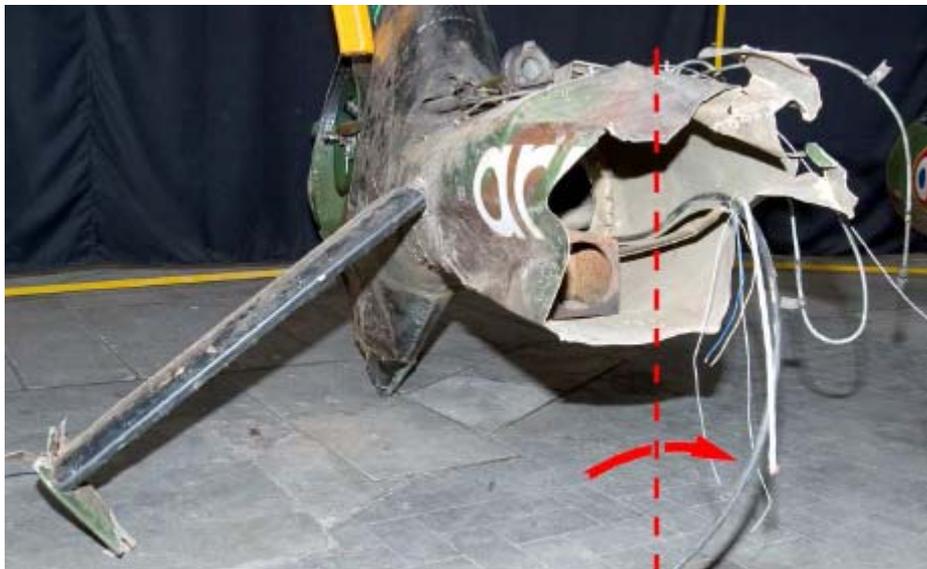
Annexe 1 : Analyse des endommagements constatés sur la poutre de queue.....	33
Annexe 2 : Analyse des endommagements constatés sur le fenestron	34
Annexe 3 : Analyse des endommagements constatés sur la transmission arrière	36
Annexe 4 : Reconstitution de la trajectoire après l'exploitation des données enregistrées dans le GPS MAP 96	38

ANNEXE 1

Analyse des endommagements constatés sur la poutre de queue



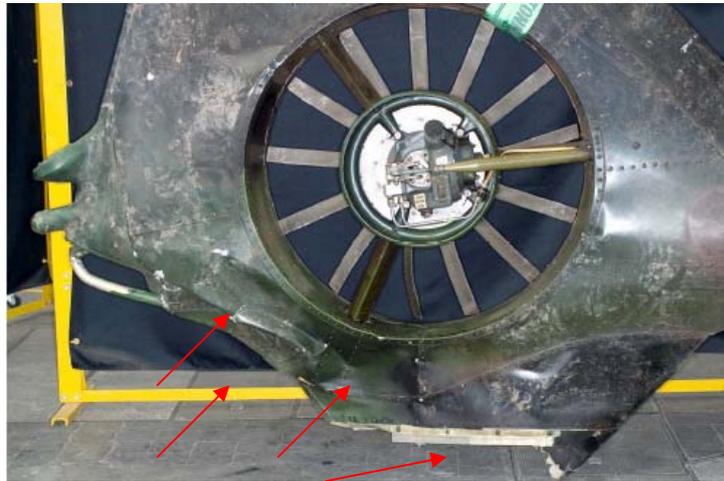
Le fléchissement de la partie rompue de la poutre de queue, et la non déformation de l'arbre de transmission indiquent un choc latéral, postérieur à la rupture de la transmission, et compatible avec la rotation par la gauche de l'hélicoptère.



Fléchissement sur la gauche de la partie arrière de la poutre de queue rompue.

ANNEXE 2

Analyse des endommagements constatés sur le fenestron



L'enfoncement latéral droit du fenestron et l'arrachement du sabot indiquent un choc issu de la rotation par la gauche de l'hélicoptère postérieur à l'immersion initial du fenestron.



Déformation des pales du fenestron dues à la pression de l'eau (vue du flanc gauche) et impacts dus au passage du capot de protection du moyeu rotor arrière (MRA) dans la veine d'air.

ANNEXE 3

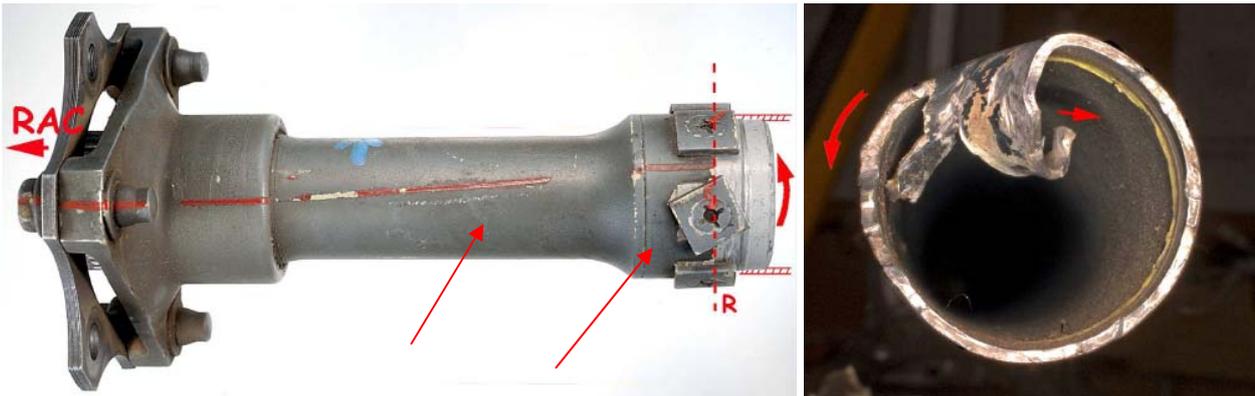
Analyse des endommagements constatés sur la transmission arrière



Rupture de l'arbre de transmission au droit de son rivetage avec l'embout terminal en acier.



Traces de frottement sur l'arbre long rompu indiquant la rotation de celui-ci après sa rupture.



La déformation en torsion du manchon cannelé, des rivets d'assemblages, et le faciès de rupture en torsion (avec déchirure finale dans le sens inverse de la rotation) de l'arbre indiquent une rupture de l'arbre de transmission liée à un sur couple.

ANNEXE 4

Reconstitution de la trajectoire après l'exploitation des données enregistrées dans le GPS MAP 96

