



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 12 avril 2007

RAPPORT PUBLIC D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-T-2006-011-A

Date de l'événement	26 mai 2006
Lieu	République de Côte d'Ivoire
Type d'appareil	SA 342 M1 Gazelle Viviane
Immatriculation	N° 4139 F-MCPB
Organisme	Armée de terre
Unité	BATALAT Licorne en RCI

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 MATIERES

<i>Avertissement</i>	2
<i>Table des matières</i>	3
<i>Table des illustrations</i>	5
<i>Glossaire</i>	6
<i>Synopsis</i>	9
1 Renseignements de base	13
1.1 Déroulement du vol.....	13
1.1.1 Mission.....	13
1.1.2 Contexte	13
1.1.3 Consignes de survol du territoire.....	13
1.1.4 Ordre de vol.....	14
1.1.5 Déroulement	15
1.1.5.1 Préparation du vol.....	15
1.1.5.2 Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'évènement.....	15
1.1.6 Localisation	17
1.2 Tués et blessés.....	17
1.3 Dommages à l'aéronef	17
1.4 Autres dommages.....	17
1.5 Renseignements sur le personnel	18
1.5.1 Membres d'équipage de conduite.....	18
1.5.1.1 Commandant de bord.....	18
1.5.1.2 Pilote.....	19
1.6 Renseignements sur l'aéronef	21
1.6.1 Maintenance	21
1.6.2 Performances	22
1.6.3 Masse et centrage	22
1.6.4 Carburant.....	23
1.7 Conditions météorologiques.....	23
1.7.1 Prévisions	23
1.7.2 Observations.....	23
1.8 Aides à la navigation.....	23
1.9 Télécommunications	23
1.10 Enregistreurs de bord	24
1.11 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	24
1.11.1 Examen de la zone.....	24
1.11.2 Examen de l'épave	29
1.11.2.1 Constatations générales.....	29
1.11.2.2 Examen détaillé	32
1.12 Renseignements médicaux et pathologiques.....	37
1.12.1 Membres d'équipage de conduite.....	37
1.12.1.1 Commandant de bord.....	37
1.12.1.2 Pilote.....	38
1.13 Survie des occupants	38
1.13.1 Organisation des secours	38
1.14 Essais et recherches.....	39
1.14.1 Expertises demandées au CEPR de Saclay.....	39
1.14.2 Autres expertises	40
1.15 Techniques spécifiques d'enquête.....	40

2 Analyse	41
2.1 Exploitation des données GPS et conclusions des expertises techniques	42
2.1.1 Analyse de la configuration du site	42
2.1.2 Exploitation des données issues du GPS embarqué	42
2.1.2.1 Trajet global du 26 mai	44
2.1.2.2 Profil du vol du 26 mai	45
2.1.2.3 Analyse du vol	46
2.1.2.4 Analyse de la trajectoire terminale du vol	49
2.1.3 Conclusions des expertises techniques	52
2.1.3.1 Expertises réalisées par le CEPr	52
2.1.3.2 Expertise réalisée par Turboméca	52
2.2 Causes du heurt de ligne	53
2.2.1 Domaine technique	53
2.2.2 Domaine environnemental	54
2.2.3 Causes liées au facteur humain	54
2.2.3.1 Facteurs ayant pu influencer le processus décisionnel de l'équipage	55
2.2.3.2 Trajectoire effectuée et vol tactique	58
2.2.3.3 Conclusion sur les causes liées au facteur humain	59
3 Conclusion	60
3.1 Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement	60
3.1.1 Contexte de la mission	60
3.1.2 Indices importants	60
3.1.3 Domaine technique	60
3.1.4 Trajectoire reconstituée	61
3.1.5 Situation de l'équipage	61
3.2 Causes de l'événement	61
4 Recommandations de sécurité	62
4.1 Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	62
4.1.1 Règles de vol tactique	62
4.1.2 Consignes de survol	62
4.2 Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	64
4.2.1 Devis de masse	64
4.2.2 Déclenchement de l'alerte	64
4.2.3 Officier de sécurité des vols	65
4.2.4 Equipements de navigation GPS	65
4.2.5 Enregistreur d'accident	66
Annexe	67
1 Devis de masse	68

TABLE DES ILLUSTRATIONS

➤ Photographies

Photo 1	page 25
Photo 2	page 25
Photo 3	page 27
Photo 4	page 27
Photo 5	page 27
Photo 6	page 28
Photo 7	page 30
Photo 8	page 30
Photo 9	page 31
Photo 10	page 32
Photo 11	page 32
Photo 12	page 33
Photo 13	page 33
Photo 14	page 36
Photo 15	page 37
Photo 16	page 51

➤ Figures

Figure 1	page 16
Figure 2	page 41
Figure 3	page 44
Figure 4	page 45
Figure 5	page 47
Figure 6	page 49

GLOSSAIRE

ALAT	Aviation légère de l'armée de terre
BATALAT	Bataillon de l'aviation légère de l'armée de terre
BEAD-air	Bureau enquêtes accidents défense air
BIMA	Bataillon d'infanterie de marine
BSTAT	Brevet supérieur de technicien de l'armée de terre
BTP	Boîte de transmission principale
CAM V	Circulation aérienne militaire de type de <i>Victor</i> (vol à vue)
CAVOK	<i>Ceiling and visibility OK</i> Visibilité, nuages et temps présent meilleurs que valeurs ou conditions prescrites
CB	Chef de bord
CBHA	Chef de bord hélicoptère d'attaque
COMALAT	Commandement de l'aviation légère de l'armée de terre
CPO	Consignes permanentes opérationnelles

CPSA	Conseil permanent de la sécurité aérienne
DETAIR	Détachement air
DETALAT	Détachement de l'aviation légère de l'armée de terre
EA.ALAT	École d'Application de l'aviation légère de l'armée de terre
EVS	Évacuation sanitaire
GPS	<i>Global positioning system</i> Système mondial de positionnement par satellite
GTM	Groupe turbomoteur
NADIR	Navigateur autonome modulaire pour hélicoptères
Nm	<i>Nautical mile</i> Mille nautique (Nm = 1852 mètres)
OHV	Opération hors visite
OMA	Ordre de mission aérienne
OSV	Officier de sécurité des vols
PA	Pilote automatique
PILHL	Pilote hélicoptère léger

RCI	République de Côte d'Ivoire
RG	Révision générale
SARSAT	Système international de satellites pour les recherches et le sauvetage
SIL	Système d'intensification de lumière
TBH	Très Basse Hauteur
TDV	Tête de Visée
VI.CAM	Vol Aux Instruments en Circulation Aérienne Militaire
VOLTAC	Vol Tactique
VRPN	Visite Révisionnelle du Personnel Navigant
VSV	Vol Sans Visibilité

SYNOPSIS

- Date de l'événement : 26 mai 2006 à 13h30 locales¹.
- Lieu de l'événement : 6 km au Nord-est du village de Tiémélékro en République de Côte d'Ivoire (RCI).
- Organisme : Armée de terre.
- Unité : BATALAT² LICORNE.
- Aéronef : SA 342 Gazelle Viviane n° 4139 F-MCPB.
- Nature du vol : liaison technique.
- Nombre de personnes à bord : 02.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

La Gazelle SA 342 M1 n° 4139 décolle à 12h43 du 43^{ème} BIMA³ d'Abidjan pour une mise en place au DETALAT⁴ de Bouaké, au centre de la RCI, suite à une intervention technique (échange viseur Viviane et embrayage).

L'équipage est constitué d'un chef de bord et d'un pilote.

A 13h40, le BATALAT est prévenu téléphoniquement par SARSAT⁵ de l'émission d'une balise de détresse en RCI.

Un puma EVS⁶ décolle de Bouaké, parvient aux coordonnées du lieu d'émission vers 15h30, et confirme le crash de la Gazelle à 6 km au Nord-Est du village de Tiémélékro, sur le trajet direct entre Abidjan et Bouaké, à environ mi-parcours.

¹ Les horaires mentionnés dans ce rapport sont exprimés en heure locale, égale au temps universel en RCI, soit un décalage de -2 heures avec la France.

² BATALAT : Bataillon de l'aviation légère de l'armée de terre.

³ BIMA : Bataillon d'infanterie de marine.

⁴ DETALAT : Détachement de l'aviation légère de l'armée de terre.

⁵ SARSAT : *Search and rescue satellites*, système international de satellites pour les recherches et le sauvetage.

⁶ EVS : Evacuation sanitaire.

Le chef de bord, décédé, et le pilote, grièvement blessé, sont évacués sur le groupe médicochirurgical de Toumbokro, à 25 km au Nord-Ouest de Yamoussoukro. L'appareil, détruit, a percuté une ligne électrique moyenne tension et s'est écrasé sur une petite aire cultivée.

Composition du groupe d'enquête technique

- Un enquêteur technique du bureau enquêtes accidents défense (BEAD-air), nommé enquêteur désigné ;
- un officier pilote sur hélicoptère Gazelle de l'ALAT⁷ ;
- un officier mécanicien du BATALAT ayant une compétence sur ce type d'hélicoptère ;
- un médecin du personnel navigant de l'Armée de l'air, du DETAIR⁸ de Lomé.

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air a été prévenu téléphoniquement par le Bureau de sécurité des vols du COMALAT⁹ le 26 mai 2006 vers 20h05.

L'expert mécanicien et l'OSV¹⁰ de l'unité se sont rendus sur le site le 27 mai dans la matinée, ont procédé aux premières constatations sur le site, ont pris des vues aériennes et de détail sur l'épave, et ont effectué des prélèvements de fluides.

Les contraintes opérationnelles du théâtre ont imposé l'enlèvement de l'épave dès le 28 mai, opération supervisée par l'expert mécanicien.

L'épave a été hélitreuillée et transportée à Lomo Nord, puis acheminée sur le 43^{ème} BIMA par voie routière. Préalablement au déplacement de l'épave, il a été nécessaire de déposer certains ensembles mécaniques, dont le GTM¹¹ et l'embrayage afin d'assurer la manœuvre de *sling* en sécurité.

⁷ ALAT : Aviation Légère de l'armée de terre.

⁸ DETAIR : Détachement Air.

⁹ COMALAT : Commandement de l'Aviation Légère de l'armée de terre.

¹⁰ OSV : Officier de sécurité des vols.

¹¹ GTM : Groupe Turbomoteur.

L'enquêteur désigné, accompagné de l'expert pilote, s'est rendu en RCI le 29 mai 2006 en fin de journée. Le groupe d'enquête, comprenant l'enquêteur désigné, l'expert pilote et l'expert mécanicien, a été réuni à Abidjan le soir même et le BATALAT en a assuré le soutien.

L'expert médecin a été dans un premier temps désigné dans l'unité concernée au BATALAT. Directement impliqué dans les premiers constats effectués sur le site, l'évacuation de l'équipage et surtout en contact direct avec les personnels de l'unité, il a ensuite été relevé le 29 mai par un expert médecin du DETAIR de Lomé au Togo, extérieur au contexte de l'évènement. Celui-ci a rejoint le groupe d'enquête le 30 mai 2006.

Le 30 mai, l'enquêteur désigné et l'expert pilote se sont rendus sur le site de l'accident par hélicoptère Puma, puis à Bouaké (lieu de stationnement de l'unité de l'équipage) afin de recueillir des témoignages.

Des témoignages ont ensuite été recueillis auprès des navigants et mécaniciens du BATALAT à Abidjan les 31 mai et 1^{er} juin. Dans le même temps, l'expert mécanicien a procédé aux constats détaillés sur l'épave, ainsi qu'aux premières investigations sur le GTM.

Nota :

Les experts médecin et mécanicien ont été désignés localement pour des raisons de proximité et de disponibilité. Cependant, la désignation d'experts techniques au sein même de l'unité concernée par l'évènement place les intéressés en situation délicate. De telles désignations doivent, dans la mesure du possible, demeurer exceptionnelles.

Enquête judiciaire

- Un officier de police judiciaire de la Brigade prévôtale de Port Bouet en RCI a été commis.
- La procédure a ensuite été transférée auprès de la section judiciaire de la Gendarmerie de l'air.
- Le Tribunal aux armées de Paris s'est saisi de l'affaire.
- Un expert judiciaire a été désigné.

1 RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

1.1.1 Mission

Indicatif mission	2605 – 01 - ABJ
Type de vol	Vol opérationnel de type CAM V¹²
Type de mission	Liaison technique
Dernier point de départ	Abidjan
Heure de départ	12h43
Point d'atterrissage prévu	Bouaké

1.1.2 Contexte

La mission a été programmée afin de réaliser une intervention technique sur l'appareil (échange viseur Viviane) au peloton de maintenance du BATALAT, à Abidjan.

L'appareil a été convoyé de Bouaké (son lieu de stationnement) vers Abidjan le 24 mai 2006 et devait être ramené à Bouaké à l'issue des opérations techniques.

1.1.3 Consignes de survol du territoire

Les consignes particulières pour l'exécution des vols hors missions de combat et de jour, décrites dans la dernière version des CPO¹³ du BATALAT LICORNE, fiche 101, chapitre 2.1, mentionnent : « *compte tenu de la menace ALI (armement léger d'infanterie) et sauf conditions météo contraignantes, les transits de jour sont réalisés à une **hauteur minimale de 300 mètres/sol*** ».

Ce principe est toutefois complété par un alinéa donnant latitude aux équipages d'adapter la hauteur de vol en fonction de la situation opérationnelle ou en cas d'incident :

¹² CAM V : Circulation aérienne militaire de type *Victor* (vol à vue).

¹³ CPO : Consignes permanentes opérationnelles (mises à jour au 11 mai 2006).

« La situation opérationnelle pourra justifier d'adapter la hauteur de vol. Les consignes doivent être connues avant le décollage.

En cas d'incident (technique, tactique ou météorologique), le CP¹⁴ ou le CB¹⁵ adapte sa hauteur de vol à la mission ».

Cette version de la fiche 101 des CPO, ainsi datant du 11 mai 2006 fait apparaître l'évolution suivante par rapport à la version antérieure datant du 02 janvier 2006 :

- la hauteur minimale de 50 mètres à respecter dans tous les cas en dehors des zones de contrôle aéronautique n'est plus mentionnée dans le texte

De même, la dernière version de la fiche 201 des CPO, mise à jour à la même date évolue comme suit par rapport à la version du 02 janvier :

- *« le VOLTAC¹⁶ est autorisé sur tout le territoire quand les conditions opérationnelles l'imposent »* devient : *« Le VOLTAC est autorisé sur tout le territoire »* (Chapitre 4 : types de vol). L'alinéa *« L'exploitation des abaques devra être réalisée avec la plus grande attention »* demeure.

1.1.4 Ordre de vol

Le vol a fait l'objet d'un seul ordre de mission aérienne (OMA) pour le transit Bouaké-Abidjan et retour, au départ de Bouaké le 24 mai 2006. Cet OMA prévoyait un transit en navigation de type CAM V, avec autorisation de descendre jusqu'en TBH¹⁷, mais en excluant la possibilité de faire du vol tactique. L'OMA a été visé par le CB. De plus, le décollage est mentionné sur le cahier d'ordres de vol du détachement de Bouaké avec la référence de l'OMA.

Le vol retour ayant été reporté au 26 mai, celui-ci a fait l'objet d'un ordre de vol complémentaire des opérations d'Abidjan.

¹⁴ CP : Chef de patrouille.

¹⁵ CB : Chef de bord.

¹⁶ VOLTAC : Vol tactique. Le domaine de hauteur pour la pratique du VOLTAC est défini entre le sol et moins de 50 mètres/sol.

¹⁷ TBH : Très basse hauteur. Le domaine de hauteur pour la pratique du vol en TBH est défini entre 50 mètres/sol et moins de 150 mètres /sol.

1.1.5 Déroutement

1.1.5.1 Préparation du vol

La navigation entre Abidjan et Bouaké était connue de l'équipage, qui a déjà servi en RCI. Elle est prévue en trajet direct et ne présente pas de difficulté particulière.

Une prévision météorologique a été demandée par le pilote sur le trajet de navigation le matin du vol à la cellule météo d'Abidjan.

La carte à l'échelle 1/500000° du CB a été retrouvée vierge d'informations aéronautiques liées à la navigation.

En règle générale, un tel trajet est programmé par avance dans le NADIR¹⁸. Cependant, celui-ci dérive et doit être régulièrement recalé sur des points caractéristiques. Les points remarquables étant rares sur le territoire de RCI couvert de forêts, ce recalage n'est pas aisé et les équipages naviguent en priorité à l'aide d'un GPS¹⁹, plus précis.

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

Le matin de l'évènement, le CB a effectué 3 vols à caractère technique à l'issue des opérations réalisées sur l'appareil, totalisant 1,4 heures.

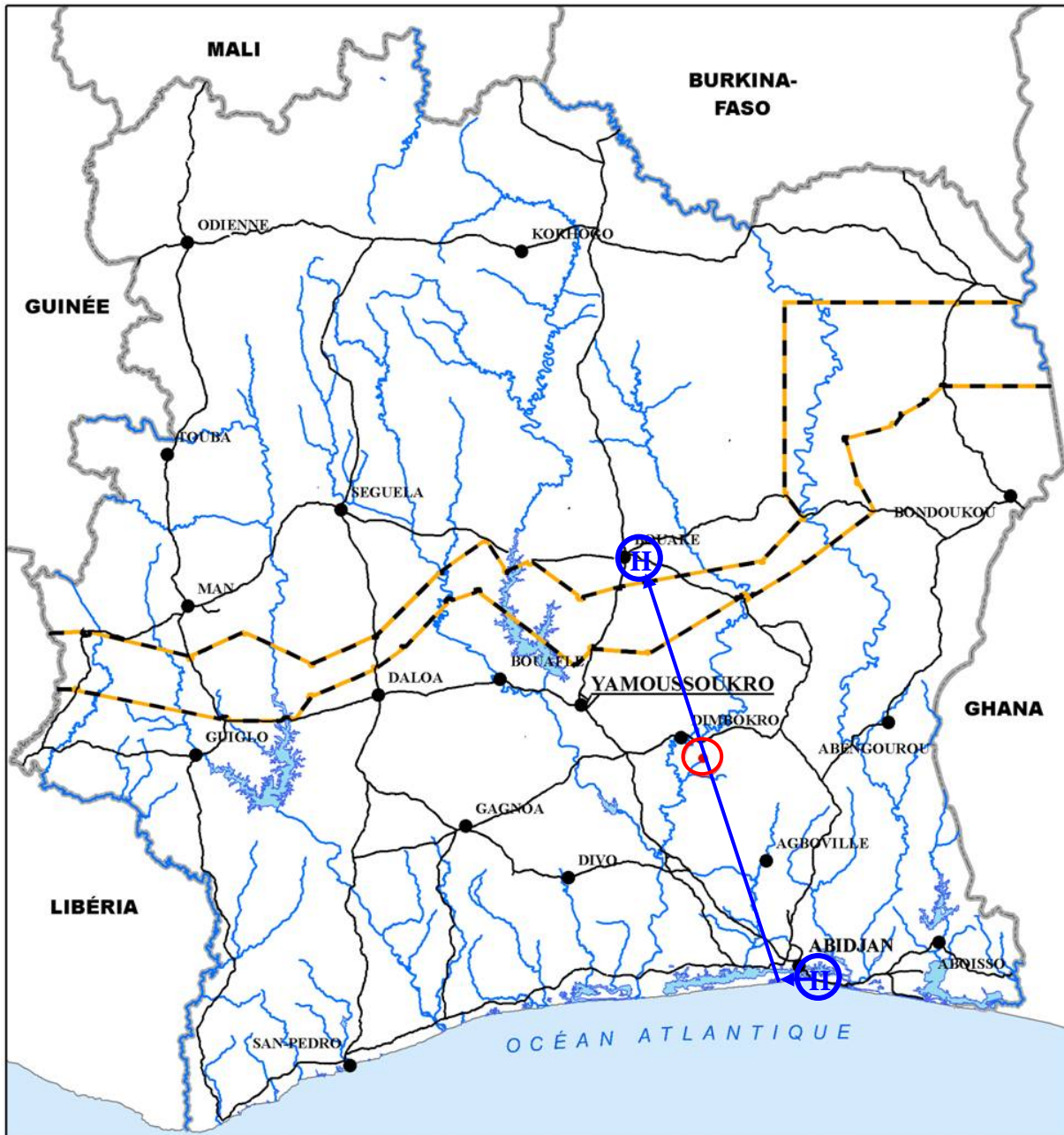
Aucune anomalie n'a été mentionnée lors de ces vols techniques.

Selon les témoignages recueillis auprès des mécaniciens, le décollage d'Abidjan n'appelle aucune remarque.

La localisation de l'appareil sur le trajet prévu et la durée estimée du vol (50 minutes environ) correspondent à un trajet direct entre Abidjan et Bouaké effectué à une vitesse moyenne d'environ 200 km/h.

¹⁸ NADIR : Navigateur autonome modulaire pour hélicoptères.

¹⁹ GPS : *Global positioning system*, Système de couverture mondiale de positionnement par satellite. Les escadrilles sont dotées de quelques GPS, dont les fonctionnalités sont considérées dépassées par les équipages, qui préfèrent se doter de GPS plus performants. En l'occurrence, le GPS retrouvé à bord était l'équipement personnel du chef de bord.



Trajet prévu et localisation du site de l'évènement

1.1.6 Localisation

➤ Lieu :

⇒ pays : République de Côte d'Ivoire ;

⇒ commune : Tiémélékro (secteur de Dimbokro, quart Sud-est de la RCI) ;

⇒ coordonnées géographiques :

N 06° 31,6' ;

W 004° 34,3'.

⇒ altitude du lieu de l'événement : 110 mètres (mesure GPS).

➤ Moment : ⇒ jour.

➤ Aéroport le plus proche au moment de l'événement : Yamoussoukro à 53 Nm²⁰ dans le 302° du lieu de l'événement.

1.2 Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles	01	-	-
Graves	01	-	-
Légères	-	-	-
Aucunes	-	-	-

1.3 Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
		X		

1.4 Autres dommages

Les 3 câbles de la ligne électrique ont été rompus.

²⁰ Nm : *Nautical mile*, mille nautique (1Nm ≈ 1852 m).

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1 Commandant de bord

- Age : 36 ans.
- Sexe : masculin.
- Unité d'affectation : 1^{er} régiment d'hélicoptères de combat (RHC) :
 - ⇒ Fonction dans l'unité : chef des opérations aériennes ;
 - ⇒ Formation :
 - qualification : BSTAT²¹ CBHA²² 01 juillet 2000 ;
 - école de spécialisation : EA.ALAT²³ ;
 - année de sortie d'école : Pilote en 1992 et chef de bord en 2000.
 - ⇒ Expérience aéronautique :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Sur Gazelle Viviane	Sur tous types	Sur Gazelle Viviane	Sur tous types	Sur Gazelle Viviane
Total	2771h	1500h	81,4h	75h	20h	20h
Dont nuit	478h	NC	22,5h	22,5h	3,4h	3,4h
Dont VSV²⁴	215h	NC	2,3h	2,3h	0,2h	0,2h

²¹ BSTAT : Brevet supérieur de technicien de l'armée de terre.

²² CBHA : Chef de bord hélicoptère d'attaque.

²³ EA.ALAT : Ecole d'application de l'aviation légère de l'armée de terre.

²⁴ VSV : Vol sans visibilité.

- Date du dernier vol comme pilote :
 - ⇒ sur l'aéronef :
 - de jour : 26 mai 2006 (vols techniques) ;
 - de nuit : 14 mai 2006.
- Carte de circulation aérienne :
 - ⇒ type : VI CAM²⁵ ;
 - ⇒ date d'expiration : 08 décembre 2006.
- Autres qualifications :
 - ⇒ formation équipage Viviane : 16 novembre 2004 ;
 - ⇒ formateur CRM²⁶ : 07 décembre 2001 ;
 - ⇒ pilote instructeur SIL²⁷ : 08 mars 2006.
- Expériences opérationnelles antérieures :
 - ⇒ Ex-Yougoslavie en 2001 et 2002 ;
 - ⇒ RCI en 2003 et 2005.
- Autres :

Le CB allait quitter le service actif en septembre 2006.

1.5.1.2 Pilote

- Age : 24 ans.
- Sexe : masculin.
- Unité d'affectation : 1^{er} régiment d'hélicoptères de combat ;
 - ⇒ fonction dans l'unité : pilote et responsable des matériels de sauvetage ALAT.

²⁵ VI CAM : Vol aux instrument en circulation aérienne militaire.

²⁶ CRM : *Crew resources management*, gestion des ressources de l'équipage.

²⁷ SIL : Système d'intensification de lumière.

➤ Formation :

⇒ qualification : BSTAT PILHL²⁸ 01 décembre 2002 ;

⇒ école de spécialisation : EA.ALAT ;

⇒ année de sortie d'école : Pilote en 2003.

➤ Expérience aéronautique :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Sur Gazelle Viviane	Sur tous types	Sur Gazelle Viviane	Sur tous types	Sur Gazelle Viviane
Total	771h	353h	62h	53h	19h	19h
Dont nuit	172h	127h	23h	21h	3,4h	3,4h
Dont VSV	41h	NC	3h	3h	0,2h	0,2h

➤ Date du dernier vol comme pilote :

⇒ sur l'aéronef :

▪ de jour : 24 mai 2006 ;

▪ de nuit : 14 mai 2006.

➤ Carte de circulation aérienne :

⇒ type : VI CAM ;

⇒ date d'expiration : 13 décembre 2006.

➤ Autres qualifications :

⇒ formation équipage Viviane : 28 septembre 2004.

➤ Expériences opérationnelles :

⇒ RCI en 2005.

²⁸ PILHL : Pilote hélicoptère léger.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : Armée de terre ;
- Commandement organique (ou opérationnel) d'appartenance : Force LICORNE ;
- Base aérienne de stationnement : Port-Bouët ;
- Unité d'affectation : BATALAT LICORNE ;
- Type d'aéronef :

⇒ configuration : standard Viviane, pas d'armement.

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis	Heures de vol depuis
Cellule	SA 342 M1	4139	1547	EMJ ²⁹ : 1547	OHV ³⁰ 200/400 : 19,5
Moteur	Astazou 14M	8281 / 7234	19,5	RG : 19,5	Fabrication : 2341

1.6.1 Maintenance

L'examen de la documentation témoigne d'un entretien conforme au plan de maintenance en vigueur.

Lors de la dernière OHV effectuée à 1527,5 heures cellule du 24 avril 2006 au 01 mai 2006, le GTM a été échangé et posé en état neuf après RG³¹, et l'embrayage a été remplacé.

²⁹ EMJ : Visite d'entretien majeur.

³⁰ OHV : Opération hors visite.

³¹ RG : Révision générale.

Détail des dernières opérations effectuées du 24 au 26 mai 2006

Les 24 et 25 mai 2006, l'échange de la tête de visée (TDV) et du boîtier électronique de visée (BEV) ont été effectués et suivis d'un vol technique de 0,9 heures. A l'issue de ce vol technique, l'échange de l'embrayage a été décidé pour cause de temps d'embrayage hors normes.

Le 25 mai 2006, les opérations suivantes ont été effectuées :

- Échange de l'embrayage ;
- Échange du joint Sealol avant du GTM ;
- Échange de l'alternateur.

A l'issue de ces opérations, ont été effectués le 26 mai 2006 dans la matinée :

Un point fixe, un stationnaire de sécurité de 0,2 heures, un vol de sécurité de 0,4 heures, et un vol de contrôle de 0,8 heures, soit un total de 1,4 heures de vol technique.

1.6.2 Performances

L'aéronef ne faisait l'objet d'aucune restriction de vol.

Compte tenu de la masse et des conditions de température et d'altitude de vol, l'appareil avait des performances compatibles avec la réalisation d'un vol tactique au moment de l'évènement.

1.6.3 Masse et centrage

Le devis de masse a été recalculé par le groupe d'enquête en fonction de la configuration de la machine et de la connaissance de la charge embarquée.

- A la mise en route : 2158 Kg ;
- Au décollage : 2136 Kg ;
- Au moment de l'évènement : estimé à 2016 Kg.

Dans cette configuration, le centrage est dans les normes.

1.6.4 Carburant

- Type de carburant utilisé : TRO F34 ;
- Quantité de carburant au décollage : 450 litres ;
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : estimée à environ 220 litres.

1.7 Conditions météorologiques

1.7.1 Prévisions

Les prévisions météorologiques élaborées à partir d'Abidjan pour la journée du 26 mai 2006 font globalement état d'un ciel couvert chargé en cumulus/strato-cumulus sur le trajet, avec quelques averses possibles.

1.7.2 Observations

Les conditions météorologiques relevées par le Puma EVS sur le trajet entre Bouaké et le site font état de conditions CAVOK³², une heure et demie environ après l'évènement.

1.8 Aides à la navigation

La Gazelle SA 342 M1 est équipée d'un NADIR.

L'équipage avait emporté un GPS type GARMIN GPSMAP 196.

1.9 Télécommunications

L'appareil n'était en contact avec aucun organisme dans cette zone.

L'équipage veillait la fréquence d'auto information en UHF³³.

³² CAVOK : *Ceiling and visibility OK*, Visibilité, nuages et temps présent meilleurs que valeurs ou conditions prescrites.

³³ UHF : *Ultra high frequency*, ultra haute fréquence.

1.10 Enregistreurs de bord

Le GPS emporté par l'équipage enregistre les routes, les points de passage et les points de trace dans une mémoire statique non volatile de 4 Mo avec une capacité de 2500 points et 15 traces sauvegardables. Les points de trace sont enregistrés automatiquement et caractérisent la trajectoire de l'aéronef.

La période d'échantillonnage des points mémorisés varie en fonction de la trajectoire.

La précision garantie par le constructeur est de 5 à 15 mètres en moyenne.

Chaque point de trace fournit les informations suivantes :

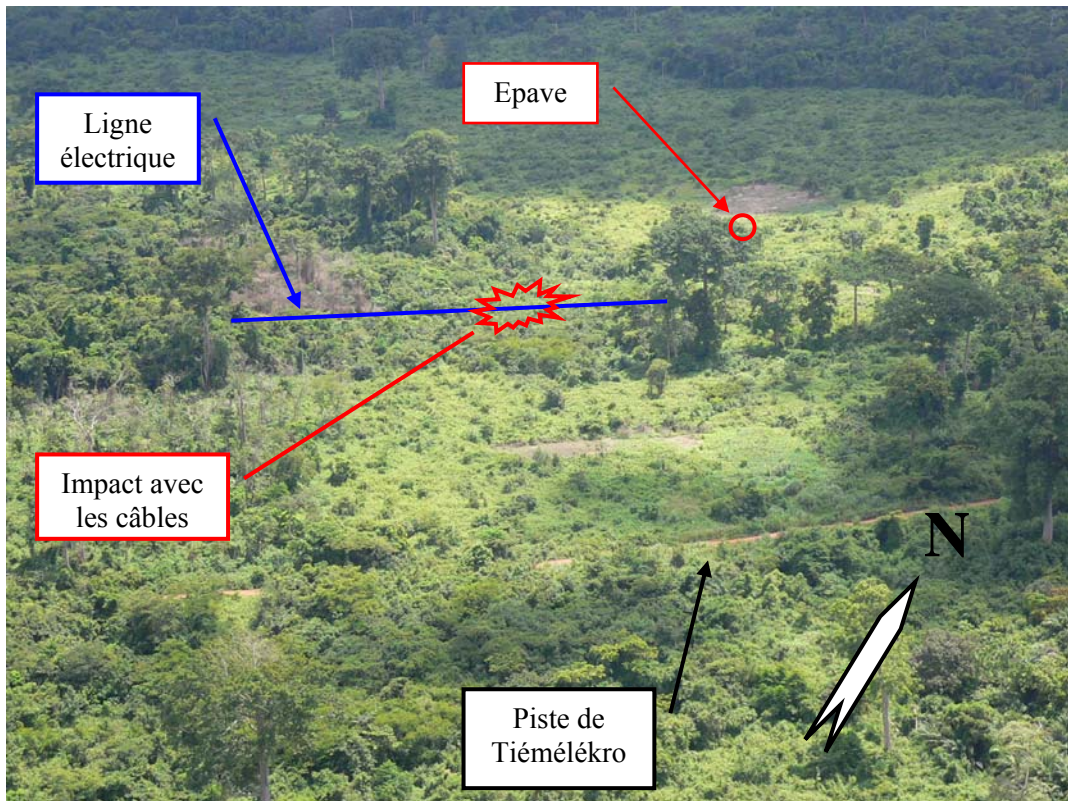
- Latitude et longitude en degrés décimaux (paramètres fournis dans le système géodésique WGS84) ;
- L'altitude GPS ;
- La date et l'heure d'enregistrement.

1.11 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

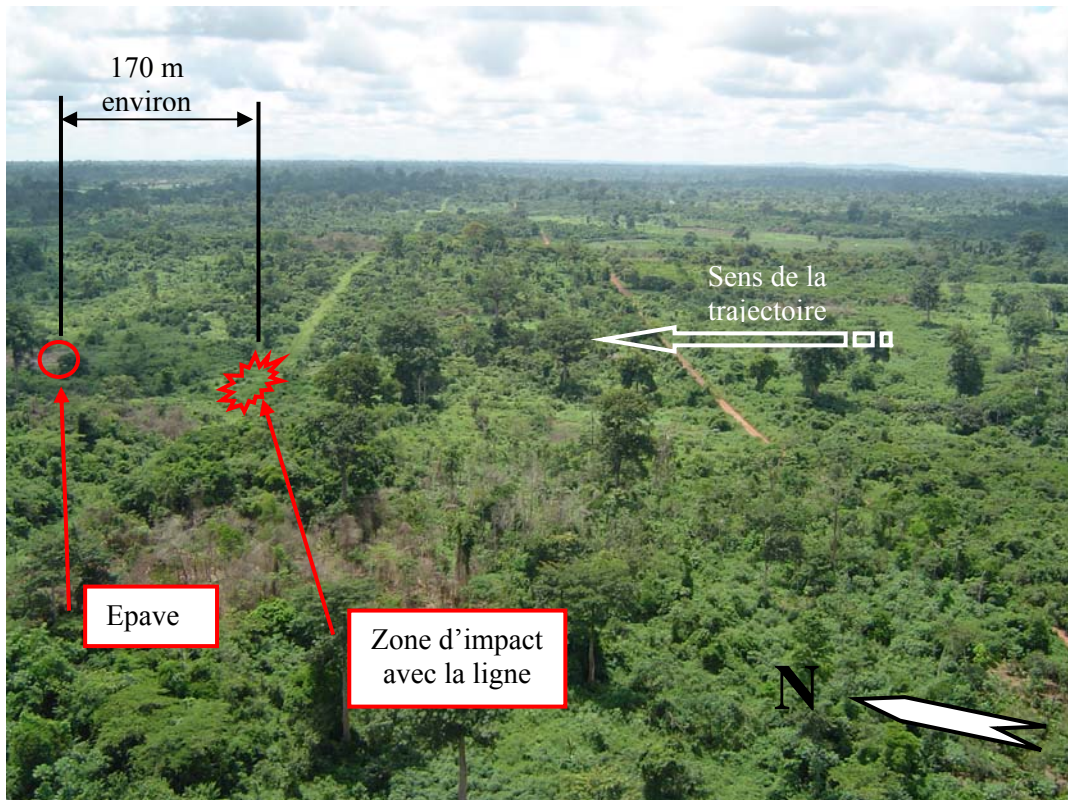
1.11.1 Examen de la zone

L'environnement du site est couvert d'une végétation dense, caractéristique de la majeure partie du territoire. La forêt présente des clairières éparses et des arbres de toutes tailles, dont certains culminent à une cinquantaine de mètres.

La zone est inhabitée, le village le plus proche du site est situé à 6 kilomètres environ vers l'Ouest.



Vue générale du site selon le secteur d'arrivée de l'appareil



Vue générale du site perpendiculairement à l'axe d'arrivée de l'appareil

La ligne moyenne tension³⁴ 3 conducteurs heurtée par l'appareil, est orientée au 250° / 070° environ et parallèle à une piste reliant les villages de Tiémélékro et Diangobo.

Les poteaux en béton armé font 12 à 13 mètres de hauteur. La portée de 264 mètres enjambe un léger thalweg à l'endroit où a eu lieu la collision avec les câbles.

Ce type de ligne n'est pas répertorié sur les cartes IGN³⁵ au 1/200 000^e dont disposent les équipages³⁶.

L'emplacement de la ligne est marqué par une tranchée dans la végétation, qui n'est visible qu'à la verticale approximative. La ligne et la tranchée sont invisibles en basse altitude selon l'axe de la trajectoire de l'appareil.

Les 3 câbles de la ligne, composés chacun de 7 brins torsadés en alliage d'aluminium³⁷ et situés sensiblement dans un plan horizontal, ont été rompus nettement, au même endroit et approximativement entre le tiers et le milieu de la portée, à une vingtaine de mètres de hauteur³⁸.

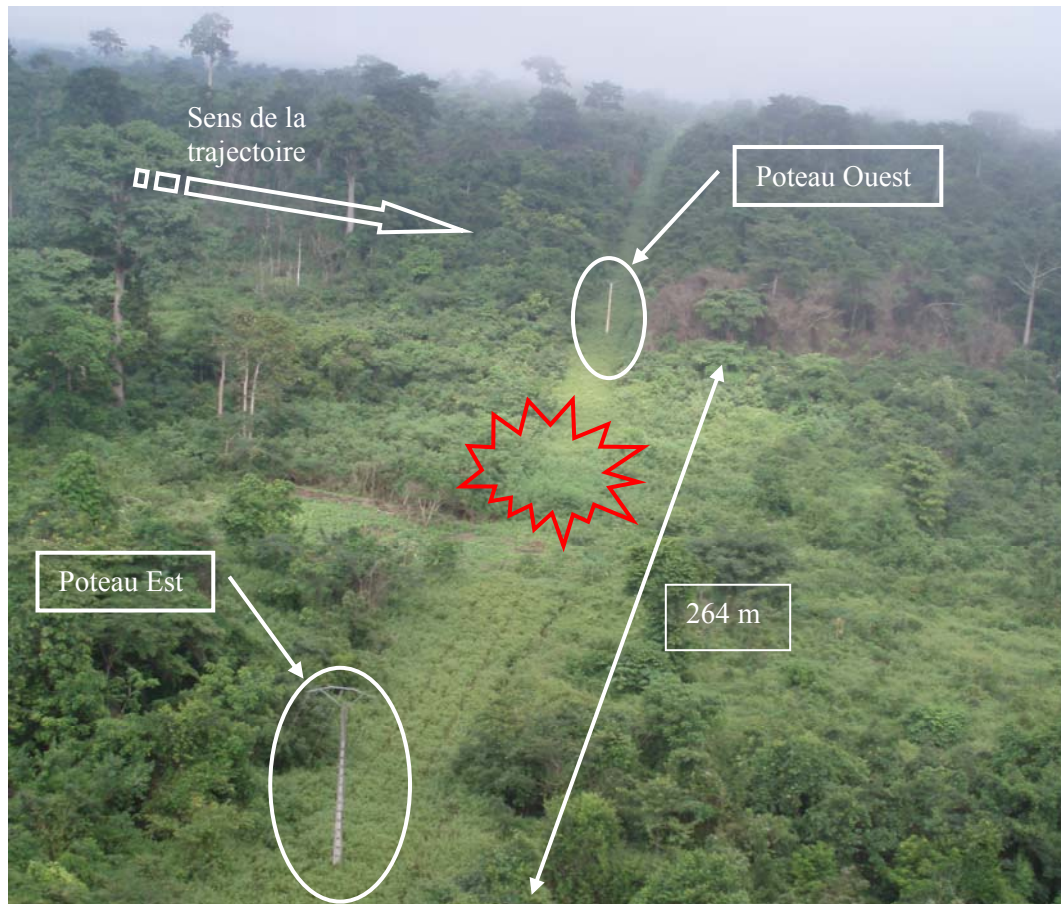
³⁴ Tension 30 000 volts.

³⁵ IGN : Institut géographique national.

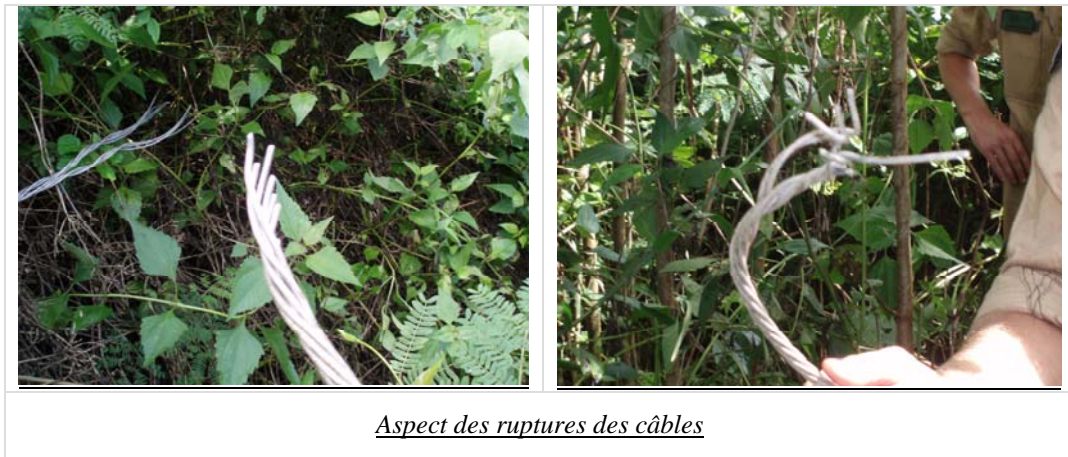
³⁶ Echelle la plus précise disponible.

³⁷ Les câbles ont un diamètre de 9,45 millimètres et offrent une résistance à la rupture de 2430 daN.

³⁸ Mesures effectuées sur la ligne réparée au télémètre et à la radiosonde, à l'endroit de la collision.



Vue de l'endroit où a eu lieu le heurt de ligne



Aspect des ruptures des câbles

L'appareil gît à 170 mètres au delà du point d'impact avec les câbles, sur une petite aire défrichée, qui se détache nettement sur le fond du paysage.

Aucun débris ou trace d'impact n'a été trouvé en amont de la ligne, ni entre la ligne et la position de l'épave.



Vue du site et axe d'arrivée après le heurt de ligne

1.11.2 Examen de l'épave

1.11.2.1 Constatations générales

L'épave est concentrée au point d'impact, sans dispersion de débris, attestant d'une faible vitesse horizontale à l'impact.

L'appareil repose sur le côté gauche.

La cabine est détruite.

La poutre de queue est désolidarisée de la cellule et demeure liée à celle-ci par les câbles de commande du RAC³⁹.

Le GTM est désolidarisé de la cellule et demeure lié à la BTP⁴⁰ par sa prise de mouvement.

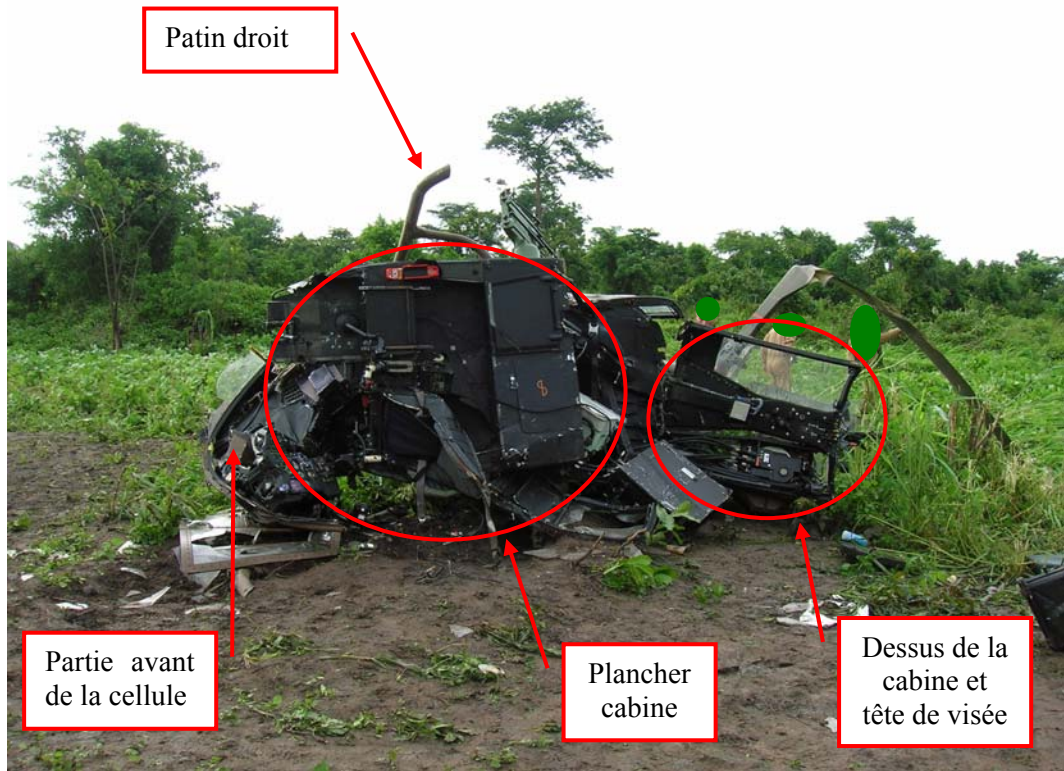
Les pales du rotor principal sont endommagées mais entières et solidaires du MRP⁴¹.

La batterie a été débranchée par l'équipage EVS présent sur le site 1h50 environ après l'accident. Selon leur témoignage, le phare était encore allumé et le tube pitot brûlant.

³⁹ RAC : Rotor anti-couple.

⁴⁰ BTP : Boîte de transmission principale.

⁴¹ MRP : Moyeu rotor principal.



Vues de l'épave sur site





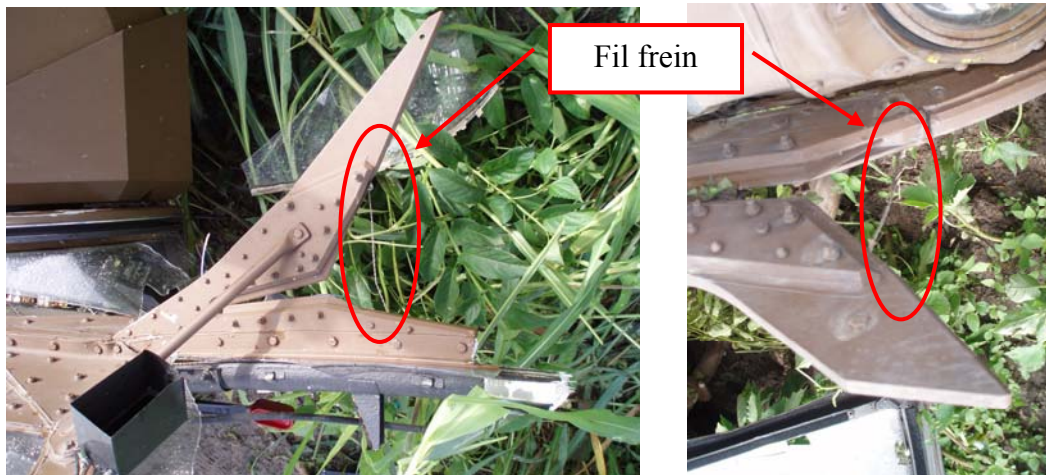
Vue de la partie arrière

1.11.2.2 Examen détaillé

Aucune trace d'impact de projectile n'a été relevée sur l'épave.

Cellule

- La partie supérieure de la cabine, sur laquelle repose la tête de visée, a été arrachée de l'avant et retournée vers l'arrière.
- Les coupe-câbles inférieur et supérieur n'ont pas été engagés, les fils frein sont en place.
- La TDV présente sur sa face avant des traces caractéristiques d'impact avec un ou plusieurs câbles torsadés.
- L'angle inférieur gauche de la TDV présente des traces d'arc électrique.
- Le témoin de colmatage carburant n'est pas apparent.

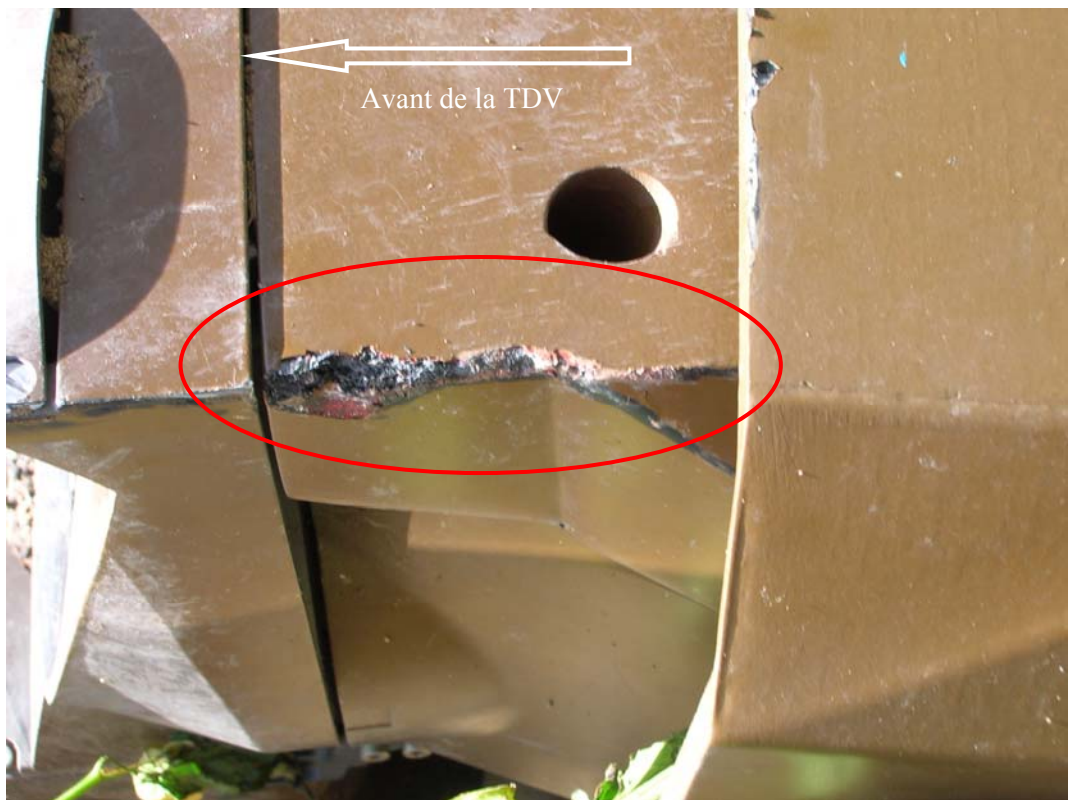


Coupe câble supérieur

Coupe câble inférieur



Traces d'impact de câble sur la TDV



Traces d'arc électrique sur l'angle inférieur gauche de la TDV

Cabine

- Le siège du pilote (place droite) a été arraché, celui du CB (place gauche) est déformé mais toujours solidaire du plancher cabine.
- Les commandes de vol des deux postes de pilotages sont fortement endommagées, mais les chaînes de commandes de vol sont continues jusqu'aux rotors.
- La commande coupe-feu est en position avant, freinée, la manette de débit est vers l'avant, dans le cran de la position « vol », et la commande de frein rotor est vers l'avant.
- Compte tenu des déformations de la planche de bord, le positionnement des interrupteurs ne peut être interprétée de manière fiable. Cependant, on remarque que :
 - ⇒ le boîtier commande viseur (BCV) est sur marche, en position asservie ;
 - ⇒ le PA⁴² est sur marche.
- Le tachymètre double NG⁴³/NR⁴⁴ indique 132 tours/minute NR et 0 tr/min NG.
- L'indicateur T4 est bloqué à 200°C.
- L'indicateur radio sonde est figé à 22 mètres, flag apparent, index réglé à zéro.

Poutre de queue

- La poutre de queue est déchirée à un mètre environ en aval de sa jonction avec la cellule.
- La dérive principale présente une déchirure sur son bord d'attaque à mi-hauteur.

GTM

- L'examen du bouchon magnétique ne révèle pas de présence de particule métallique.
- La vanne de décharge est en position fermée.
- L'ensemble tournant GTM est libre en rotation.
- L'examen visuel de la veine d'air du compresseur et de ses aubes, ainsi que du dernier étage turbine ne révèle pas d'endommagement apparent.

⁴² PA : Pilote automatique.

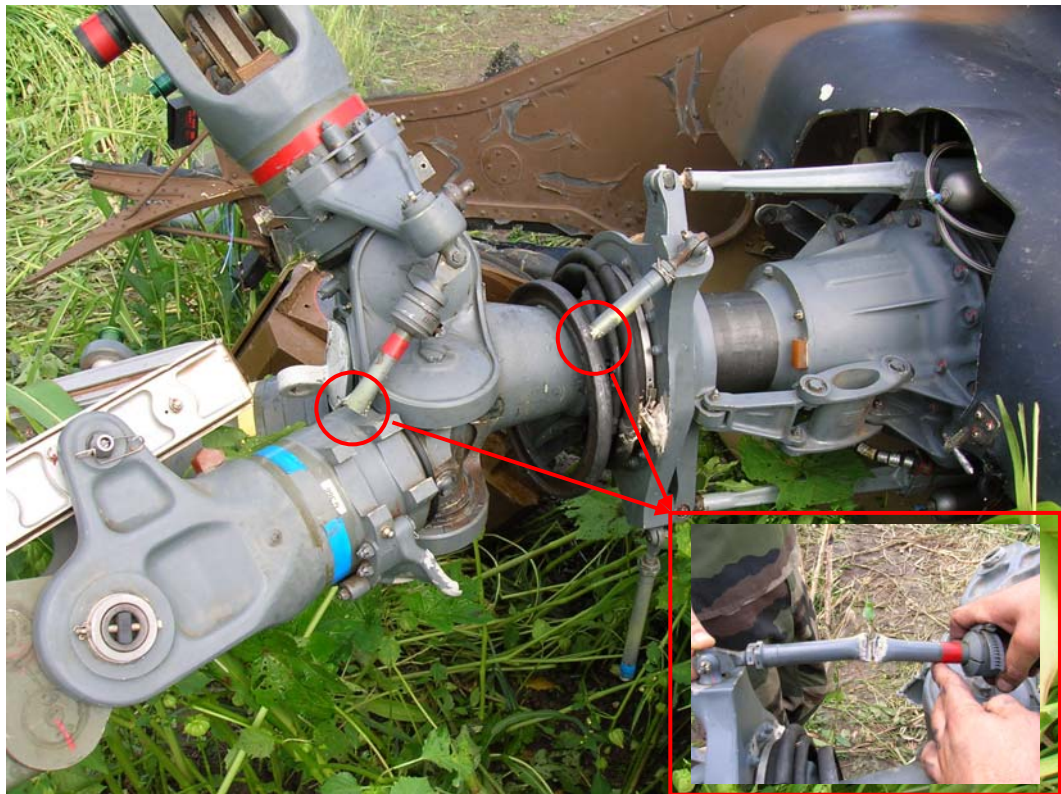
⁴³ NG : Régime du générateur de gaz.

⁴⁴ NR : Tours rotor.

- L'endoscopie de la chambre de combustion et du premier étage turbine ne révèle aucune détérioration interne.
- L'embrayage, la roue libre, et l'arbre couple-mètre tournent librement et ne présentent pas d'endommagement visible.

Ensembles mécaniques de transmission de puissance

- BTP :
 - ⇒ La prise de mouvement d'entrée BTP est usinée par les écrous de fixation du flector sur un tiers de sa circonférence et celui-ci est cassé ;
 - ⇒ Le bouchon magnétique ne révèle pas de présence de particule métallique ;
 - ⇒ Les servocommandes principales avant et droite sont flambées.
- MRP :
 - ⇒ Les biellettes de commande de pas rouge et bleue ainsi que le levier de pas de la pale bleue sont rompus ;
 - ⇒ Le plateau cyclique est en butée haute ;
 - ⇒ Les butées hautes et basses des trois manchons sont détruites et l'anneau de butées réciproques est sorti de son logement.



Etat du MRP et détail de la fracture de la bielle de pas rouge

➤ Chaîne anti-couple :

- ⇒ Les flectors de la chaîne de transmission de puissance arrière sont déformés mais non rompus ;
- ⇒ L'arbre de transmission horizontal est cisailé en amont du palier de transmission n°1 ;
- ⇒ L'arbre de transmission ainsi que le RAC tournent librement ;
- ⇒ Les pales du RAC et la veine d'air du fenestron ne présentent pas d'endommagement caractéristique ;
- ⇒ Les bouchons magnétiques BTI (boîte de transmission intermédiaire) et BTA (boîte de transmission arrière) ne révèlent aucune présence de particule métallique.

Pales du rotor principal

La pale bleue présente des traces caractéristiques de frottement sur son bord d'attaque avec un ou plusieurs câbles torsadés.



Marquages sur le bord d'attaque de la pale bleue

1.12 Renseignements médicaux et pathologiques

1.12.1 Membres d'équipage de conduite

1.12.1.1 Commandant de bord

- Dernier examen médical :
 - ⇒ type : visite révisionnelle du personnel navigant (VRPN) à l'unité ;
 - ⇒ date : 13 mars 2006 ;
 - ⇒ résultat : aptitude maintenue ;

⇒ validité : 6 mois (visite antérieure au CEMPN⁴⁵ le 15 septembre 2005, aptitude 24 mois).

Examens biologiques : prélèvements non effectués. Une autopsie a été pratiquée à l'Institut médico-légal de Paris.

➤ Blessures : poly traumatismes avec notamment un traumatisme cervical majeur.

1.12.1.2 Pilote

➤ Dernier examen médical :

⇒ type : VRPN ;

⇒ date : 26 janvier 2006 ;

⇒ résultat : Apte pilote hélicoptère ;

⇒ validité : 24 mois.

➤ Examens biologiques : prélèvements non effectués.

➤ Blessures : poly traumatismes et fractures multiples.

1.13 Survie des occupants

1.13.1 Organisation des secours

L'alerte initiale a été donnée téléphoniquement à 13h40 par SARSAT⁴⁶ Toulouse, annonçant la détection d'une balise de détresse (Gazelle n° 4139) à 13H34 sans précision de coordonnées.

Après tentative de contact avec l'appareil, la phase ALERFA⁴⁷ a été déclenchée et les moyens de recherche et de sauvetage ont été mis en alerte à 13h59 (Puma EVS et Gazelle canon de Bouaké).

SARSAT Toulouse a communiqué les coordonnées précises de la détection de balise vers 14h10.

⁴⁵ CEMPN : Centre d'expertises médicales du personnel navigant.

⁴⁶ SARSAT : Système international de satellites pour la recherche et le sauvetage.

⁴⁷ Niveau d'alerte.

L'ordre est donné de faire décoller le Puma EVS à 14h45 après embarquement de personnels de protection. Une Gazelle et un Puma sont également mis en alerte sur Abidjan pour un décollage à 15h00.

Le Puma EVS décolle de Bouaké à 14h53, et perçoit l'émission de la balise après 30 minutes de vol environ. L'épave est identifiée à 1,5 kilomètre des coordonnées données par SARSAT. La phase DETRESFA⁴⁸ est déclenchée. Le Puma se pose près de l'épave à 15h27. Les personnels de protection sécurisent le site.

Le CB est toujours sanglé sur son siège, casque et gilet de survie en place. Le médecin constate son décès.

Le pilote survivant est inconscient, casque et gilet de survie en place. Il a été éjecté avec son siège et se trouve à 1,50 mètres à gauche de l'appareil par rapport au plancher cabine, la tête vers celui-ci, et toujours sanglé sur son siège. L'équipe médicale donne les premiers secours au pilote, le médicalise sur place, et le pose sur matelas coquille.

Le pilote et le CB sont évacués à 16H55 vers le Groupement médical de campagne (GMC) de Tombokro, où ils arrivent vers 17H25.

L'évacuation sanitaire du pilote vers la France et l'HIA (Hôpital d'instruction des armées) Percy a lieu le 27 mai en Falcon 50 au départ de Yamoussoukro.

La dépouille mortelle du CB a été rapatriée vers la France le 31 mai et une autopsie a été pratiquée le 1^{er} juin à l'Institut médico-légal de Paris.

1.14 Essais et recherches

1.14.1 Expertises demandées au CEPR de Saclay

- Une expertise du GTM (endoscopie et démontage), afin de déterminer les éventuelles défaillances de cet ensemble.
- Une analyse des fluides et filtres prélevés sur l'appareil afin de rechercher une éventuelle pollution.
- Les fragments de biellettes de pas rouge et bleue, afin de déterminer l'origine de leur rupture.

⁴⁸ Niveau d'alerte.

- Les voyants d'alarme, afin de déterminer leur état à l'impact.

1.14.2 Autres expertises

- Le régulateur du GTM a été testé dans les locaux de la société Turboméca.
- L'extraction et l'exploitation des données du GPS embarqué ont été réalisées par le BEA⁴⁹.

1.15 Techniques spécifiques d'enquête

Les altitudes topographiques des derniers points de trace mémorisés par le GPS embarqué ont été déterminées à l'aide du logiciel grand public *Google Earth*⁵⁰, en y entrant les coordonnées des points mémorisés. Ces altitudes sont en cohérence avec les courbes de niveau des cartes 1/200 000^e de l'IGN et présentent la même incertitude que les données GPS de l'appareil.

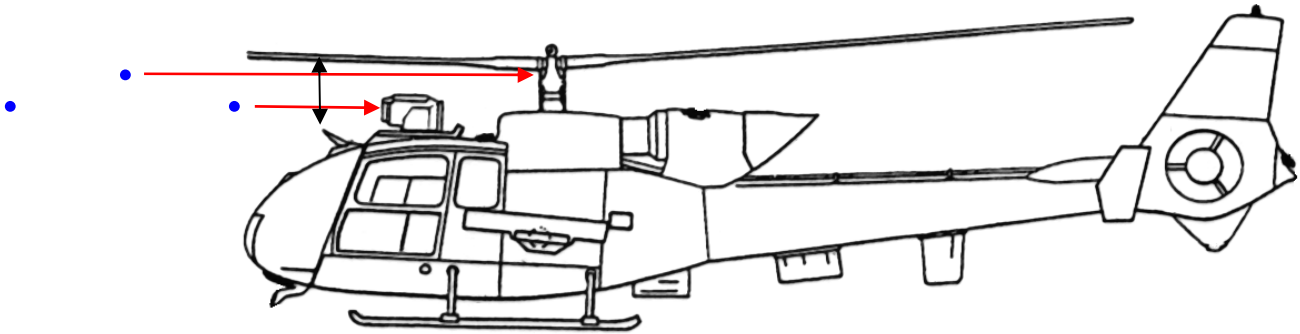
Leur détermination a permis d'estimer la hauteur approximative de survol par différence avec les valeurs issues du GPS embarqué.

⁴⁹ BEA : Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile.

⁵⁰ Logiciel d'imagerie satellitaire de couverture mondiale fonctionnant par connexion internet avec un site hébergé aux Etats-Unis.

2 ANALYSE

Les constats effectués sur le site et sur l'épave montrent que l'appareil a sectionné les trois câbles de la ligne électrique en les engageant dans l'espace délimité par le disque rotor et le sommet du coupe câble supérieur.



Représentation schématique du profil de la ligne et de l'engagement des câbles

En effet, les seules traces d'impact de câbles relevées sur l'appareil sont localisées sur le bord d'attaque de la pale bleue et sur la tête de visée, le coupe câble supérieur n'ayant pas été engagé.

De plus, l'expertise des fragments de la biellette de pas rouge montre que celle-ci a bien été heurtée par un des câbles électriques, ce qui a provoqué sa rupture.

Selon l'avis du constructeur, la rupture de la biellette de pas de la pale rouge a provoqué instantanément un déséquilibre important du rotor principal, entraînant une perte de portance générale puis une perte de sustentation et, *in fine*, la perte de contrôle de l'aéronef conduisant à l'accident.

En causant la rupture d'une biellette de pas par un impact direct d'un câble au niveau du MRP, la collision avec la ligne électrique a donc entraîné la perte de contrôle et l'écrasement de l'appareil au sol.

L'analyse qui va suivre exposera les résultats de l'exploitation des données issues du GPS embarqué et les conclusions des expertises techniques et évaluera ensuite les causes amont du heurt de ligne.

2.1 Exploitation des données GPS et conclusions des expertises techniques

2.1.1 Analyse de la configuration du site

L'appareil s'est écrasé à 170 mètres environ du point de collision avec les câbles situés à une vingtaine de mètres de hauteur.

La trajectoire consécutive au heurt de ligne, difficile à reconstituer avec certitude en l'absence de témoignage et d'enregistrement, est directement liée aux paramètres de vol de l'appareil lors de la collision avec les câbles et à la trajectoire sur laquelle il était inscrit.

Une telle distance parcourue après le heurt de ligne, ainsi que les ruptures nettes des 3 câbles au même endroit de la portée traduisent vraisemblablement une énergie importante, et donc une vitesse élevée lors de la collision.

Par ailleurs, cette distance n'est compatible ni avec l'angle de finale (environ 20 degrés) ni avec la vitesse (120 km/h) d'une trajectoire d'autorotation en amont de la ligne. L'appareil aurait dans ce cas heurté les câbles au moment du « *flare* »⁵¹. La collision aurait alors laissé des traces de nature et de position différentes sur l'aéronef et aurait provoqué un impact au sol plus proche de la ligne.

Ces considérations permettent d'établir que l'appareil a percuté la ligne avec une vitesse élevée et n'était pas inscrit sur une trajectoire d'autorotation.

2.1.2 Exploitation des données issues du GPS embarqué

L'extraction et l'exploitation par le BEA des données contenues dans le GPS embarqué ont permis de reconstituer le trajet parcouru le 26 mai.

⁵¹ Relevé d'assiette effectué à proximité du sol, en phase finale d'autorotation, afin de diminuer le taux de descente.

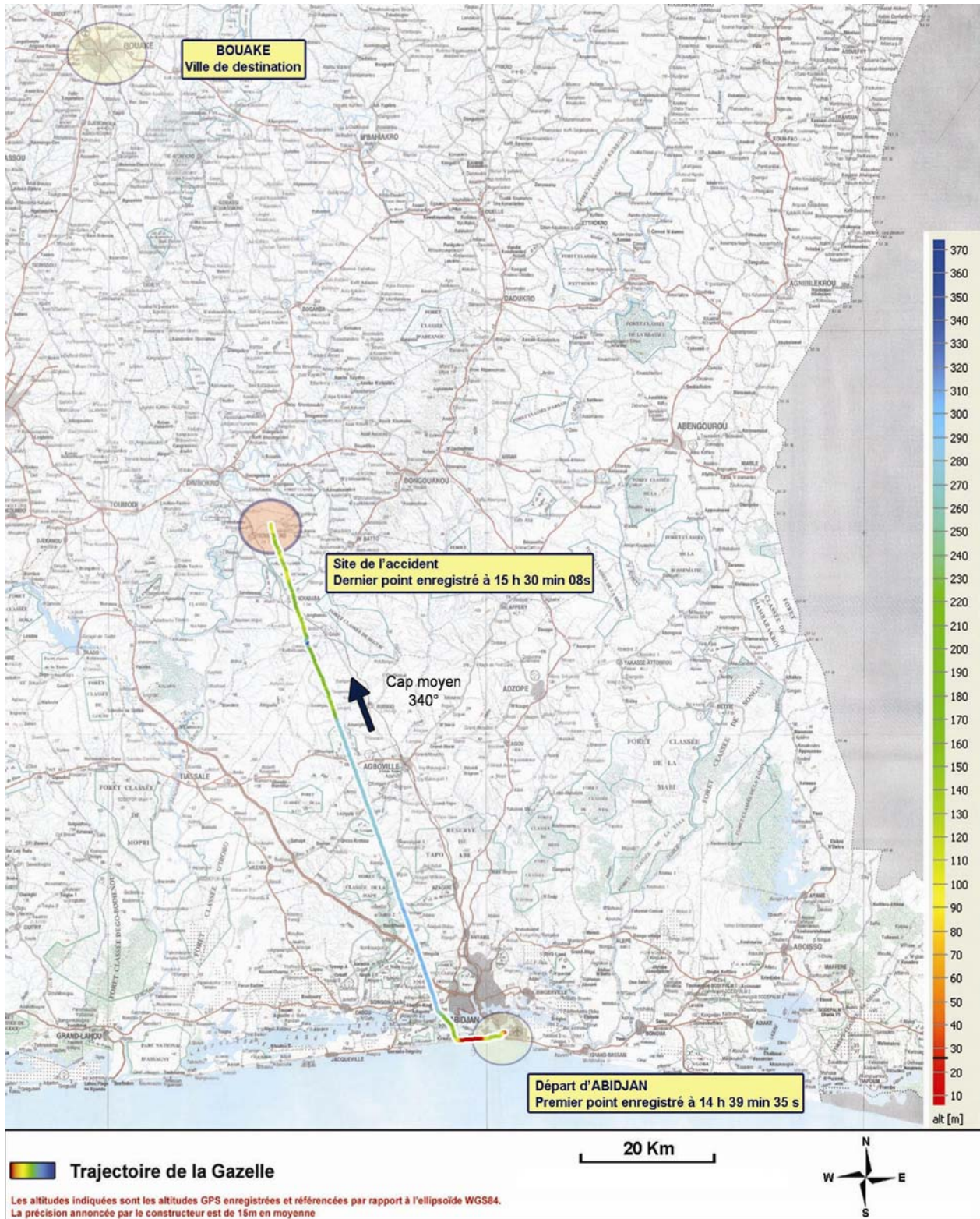
Nota :

- Le GPS personnel du CB était initialement réglé sur l'heure locale de France. Les horaires des coordonnées extraites de ce GPS présentent donc un décalage de +2 heures par rapport aux horaires locaux réels de la trajectoire.
- La trace datée du 26 mai 2006 correspond au vol de l'évènement. Elle est constituée de 269 points. La période d'échantillonnage varie entre 1 et 20 secondes.

Chaque point de trace fournit les informations suivantes :

- Latitude et longitude en degrés décimaux (paramètres fournis dans le système géodésique WGS84) ;
 - L'altitude GPS ;
 - La date et l'heure d'enregistrement en heure locale française, sélectionnée par l'utilisateur.
- Les informations de position extraites du calculateur GPS peuvent présenter ponctuellement des erreurs. La précision garantie par le constructeur est de 5 à 15 mètres en moyenne.
 - Les fonds de cartes utilisés sont référencés dans le système géodésique WGS84.
 - La trajectoire restituée a été recalée par rapport aux positions connues du plot de décollage et de l'épave (le premier et le dernier point enregistrés correspondent pratiquement à ces positions respectives validées par une autre mesure GPS).
 - Les informations de vitesse sol ne sont pas enregistrées dans le GPS mais calculées ultérieurement sur chaque intervalle séparant deux points successifs.

2.1.2.1 Trajet global du 26 mai



Trajet effectué le 26 mai depuis le décollage d'Abidjan (Altitudes GPS en code couleurs) et localisation sur une carte à l'échelle 1/500 000^e du site de l'évènement

Ce trajet correspond à un vol direct entre Abidjan et Bouaké, après évitement du survol de la ville par l'Ouest.

Le dernier point enregistré correspond à la position du site de l'accident.

2.1.2.2 Profil du vol du 26 mai



Coupe verticale du vol (Altitudes GPS en code couleurs)

La coupe verticale du vol fait apparaître trois segments remarquables : une phase de décollage et montée à 300 mètres d'une durée de 12 minutes, une phase de transit entre 300 et 270 mètres d'une durée d'environ 22 minutes, puis une phase au profil très irrégulier dans une tranche moyenne 180 – 120 mètres d'une durée de 16 minutes jusqu'à l'accident.

2.1.2.3 Analyse du vol

➤ Phase de décollage et montée :

La trajectoire traduit le décollage puis une montée normale vers 140 mètres. Après avoir atteint cette altitude, une descente franche est effectuée vers une douzaine de mètres. Un palier de deux minutes est maintenu à cette altitude, à une vitesse sol d'environ 190 km/h au cap moyen 265 : ce segment correspond à l'évitement de la ville par le Sud, au dessus de la mer. Une telle altitude est différente de celle normalement retenue à cet endroit⁵².

La montée vers 300 mètres est reprise lors du virage vers le cap 340°. Elle est effectuée en deux temps, avec une stabilisation d'une minute à 150 mètres, et est conforme aux performances de l'appareil.

➤ Phase de transit en palier :

Cette phase de 22 minutes est effectuée au cap moyen 340° et à une vitesse sol de l'ordre de 220 km/h. Un premier palier stabilisé est effectué à 300 mètres durant 7 minutes, puis un deuxième à 280 mètres durant 13 minutes. Cette phase correspond globalement au profil de vol prévu.

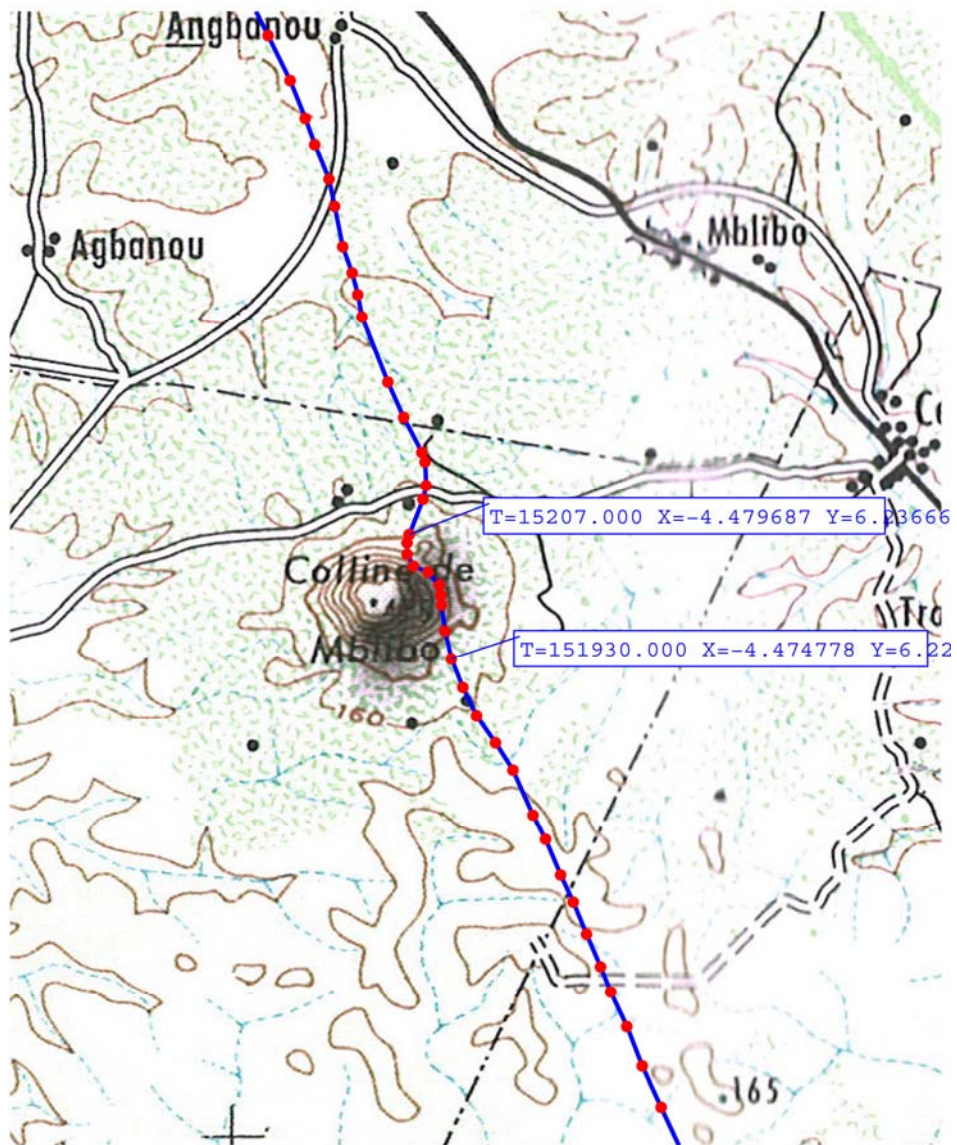
➤ Dernière phase du vol :

Après 22 minutes de transit stabilisé à environ 300 mètres, soit 33 minutes de vol depuis le décollage, une descente franche (1 minute) est effectuée vers 140 mètres. Dans cette zone sans relief marqué, l'altitude topographique relevée sur les courbes de niveaux (carte au 1/200 000^e) ainsi que sur les points côtés environnants, varie entre 120 et 160 mètres environ. A partir de cet instant, l'appareil évolue en TBH, avec des incursions en VOLTAC, à une vitesse moyenne comprise entre 200 et 220 km/h. Les variations d'altitude sont de plus grande amplitude et plus fréquentes que lors du palier à 300 mètres, tenu au PA.

⁵² La hauteur normalement prévue à cet endroit est de 100 mètres/mer pour les départs d'Abidjan et 200 mètres/mer pour les arrivées.

- ⇒ La descente vers 140 mètres est initiée au dessus d'une zone déserte, sans point remarquable, ni piste ou village ;
- ⇒ Après 5 minutes, l'appareil remonte franchement à 374 mètres en 30 secondes, puis redescend aussitôt. Simultanément, le cap varie, puis reprend sa valeur moyenne au 340°.

Cette variation importante de trajectoire correspond au survol en très basse altitude des pentes de la face Est et Nord-Est d'une colline isolée (voir vue ci-dessous), point de repère caractéristique situé sur le trajet de navigation et culminant à 475 mètres, donc visible d'assez loin.

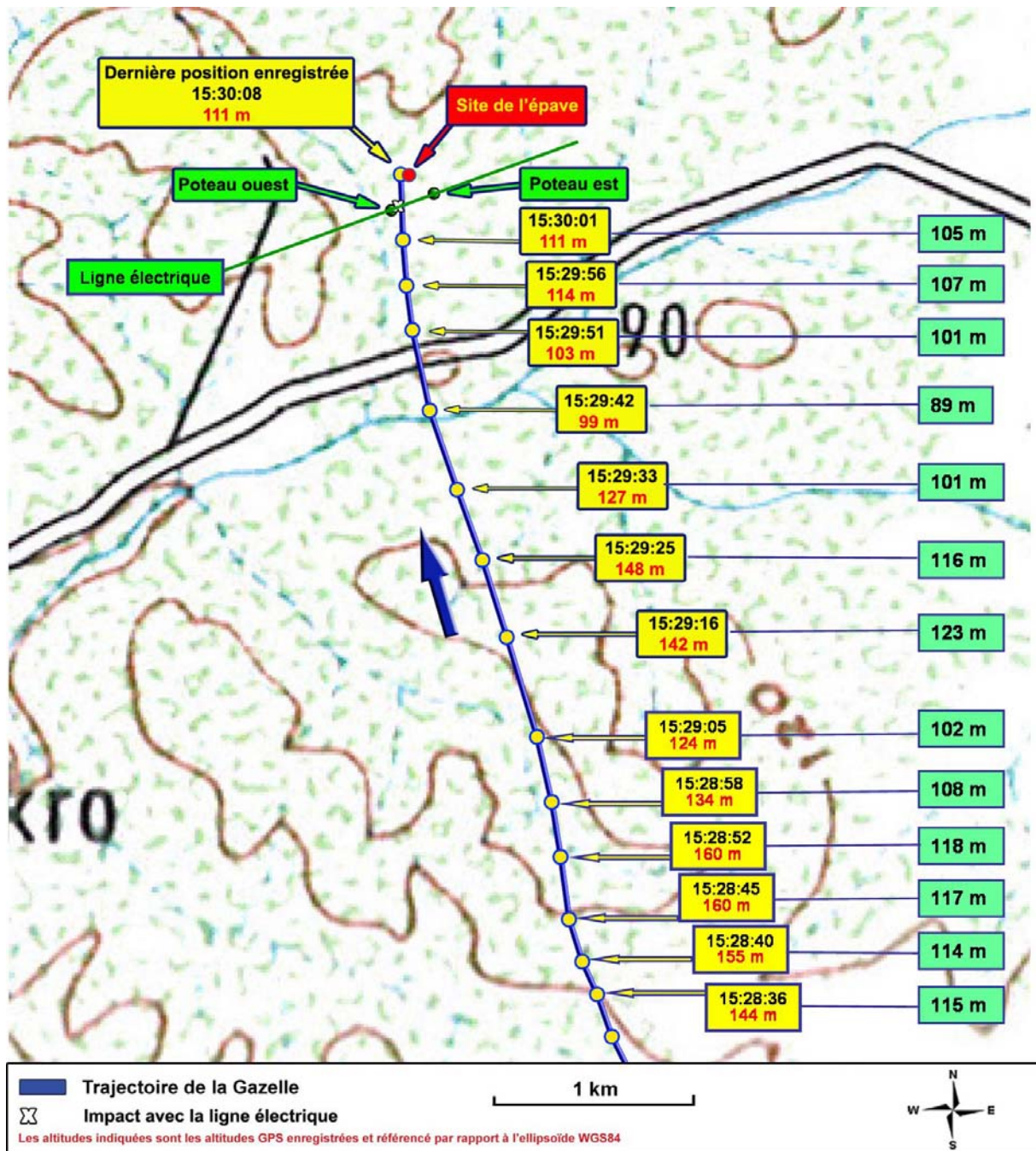


Survol des pentes de la colline de Mblibo

L'appareil reprend ensuite le cap moyen de navigation.

- ⇒ Deux minutes plus tard, l'appareil remonte vers 230 mètres, puis redescend, sans variation de cap. Cette manœuvre correspond à l'évitement en altitude et à vue du village d'Anoumaba, où passe une voie ferrée.
- ⇒ Après cette manœuvre, 7 minutes environ avant l'accident, les variations d'altitude augmentent en fréquence, avec des points bas à moins de 120 mètres, dans les cinq minutes précédant l'accident, alors que l'altitude topographique moyenne est de l'ordre de 120 mètres. L'appareil évolue donc très bas, en épousant les mouvements du terrain à une vitesse de l'ordre de 200 km/h, celle-ci évoluant selon les variations d'altitude.
- ⇒ Au total, la phase de vol en très basse altitude, depuis la mise en descente à partir du palier à 300 mètres, dure environ 16 minutes.

2.1.2.4 Analyse de la trajectoire terminale du vol



Heure française
Altitude GPS de l'appareil

Altitude GPS du point survolé

Trajectoire terminale renseignée (90 dernières secondes) sur fond de carte à l'échelle 1/200 000^e

Nota :

Les hauteurs de vol ne sont volontairement pas calculées, les incertitudes liées aux différentes mesures GPS (GPS embarqué et autres GPS) comparées entre elles n'évoluant pas obligatoirement dans le même sens. Cependant, les variations des altitudes topographiques sont cohérentes avec le profil du terrain révélé par les courbes de niveau de 120 mètres et les points cotés mentionnés sur la carte IGN au 1/200 000^e. La présentation comparée des deux altitudes (appareil et topographique) sur chaque point mémorisé permet donc au lecteur d'apprécier l'évolution de la hauteur de vol de l'aéronef par rapport au profil du terrain lors des dernières 90 secondes, mais ne saurait constituer une donnée concrète validée par simple calcul.

- L'appareil évolue entre 20 et 30 mètres/sol à 200 km/h au sud de la piste de Tiémélékro. Le cap évolue peu.
- Une rivière longeant la piste au sud marque un petit thalweg situé à 90 mètres d'altitude. L'évolution de la trajectoire montre que l'appareil descend dans ce thalweg perpendiculairement à celui-ci puis remonte en suivant le terrain très bas (quelques mètres) après avoir survolé la piste de Tiémélékro.
- **L'observation du terrain à cet endroit révèle qu'à cette altitude, l'appareil évolue littéralement entre les arbres, à quelques mètres du sol, à près de 200 km/h.** La vitesse calculée sur le point mémorisé à 15h30'01'', à quelques secondes de la collision avec la ligne, est de 198,4 km/h.



*Représentation schématique de la trajectoire à l'approche de la ligne électrique
(photo prise à une hauteur de 50 mètres)*

- Compte tenu des incertitudes, les données GPS sont cohérentes avec une présentation de l'appareil légèrement plus bas que la hauteur des câbles à l'endroit de la collision (environ 20 mètres). La manière dont ces derniers ont été engagés témoigne, selon toute vraisemblance, soit d'un relevé d'assiette tardif pouvant traduire une tentative d'évitement, soit une trajectoire en légère montée, avec une assiette positive.

En effet, dans le cas d'un vol horizontal à 200 km/h, l'assiette de l'appareil est légèrement négative et rend impossible un tel engagement des câbles : ceux-ci auraient d'abord été heurtés par les pales du rotor principal.

L'appareil amorçait certainement un cabré : cette hypothèse est en accord avec la distance parcourue après la collision avec la ligne.

Conclusion sur l'exploitation des données issues du GPS embarqué

La restitution du profil de vol montre qu'après un début de vol globalement standard et après une demi-heure environ, l'appareil est descendu dans un premier temps en TBH, avec des incursions en VOLTAC, puis progressivement en trajectoire de suivi de terrain très bas, et à grande vitesse entre les obstacles.

Lors de la collision avec la ligne électrique, l'aéronef évoluait en très basse altitude depuis environ un quart d'heure.

Une telle trajectoire est cohérente avec les indices d'un heurt de ligne à vitesse élevée observés sur le site de l'accident.

2.1.3 Conclusions des expertises techniques

2.1.3.1 Expertises réalisées par le CEPr⁵³

- L'endoscopie, le démontage du moteur et l'examen des organes ne révèlent pas d'endommagement antérieur à l'évènement.
- La roue libre est en bon état, sans trace de surcouple.
- L'embrayage est en bon état, sans indice de glissement ou de surchauffe.
- L'examen des voyants d'alarme ne révèle pas d'allumage d'un ou plusieurs voyants à l'impact.
- L'analyse des fluides ne révèle aucun dysfonctionnement ou défaillance du GTM ou des organes de puissance antérieur à l'évènement.

2.1.3.2 Expertise réalisée par Turboméca

Le passage au banc du régulateur carburant du GTM ne révèle aucun dysfonctionnement de cet organe.

⁵³ CEPr : Centre d'essais des propulseurs.

Conclusion des expertises techniques

Les expertises techniques effectuées sur le GTM et les éléments liés à la chaîne de puissance ne révèlent aucune défaillance éventuelle de ces organes antérieure à l'évènement.

2.2 Causes du heurt de ligne

2.2.1 Domaine technique

- Les vols techniques effectués avant le départ d'Abidjan n'ont révélé aucun dysfonctionnement.
- Les conclusions des expertises techniques n'ont pas mis en évidence de défaillance du GTM et des éléments de la chaîne de transmission de puissance antérieure à la collision avec la ligne.
- La position des commandes moteur en cabine ainsi que la position de la vanne de décharge retrouvée fermée attestent que le moteur fonctionnait au régime nominal avant la collision avec la ligne.
- L'examen détaillé de l'épave a prouvé la continuité des commandes de vol : une défaillance de la chaîne de commande de vol est exclue.
- Les faibles dégâts constatés sur les pales du rotor principal ainsi que sur les organes de transmission de puissance attestent d'une faible puissance transmise au rotor principal à l'impact au sol, donc d'une perte de motricité après le heurt de ligne. La vitesse calculée à près de 200 km/h quelques secondes avant le heurt de ligne montre toutefois que le GTM délivrait sa puissance et que cette perte de motricité est donc bien consécutive à la collision avec les câbles.

Pour ces raisons, aucune cause d'origine technique n'est retenue.

2.2.2 Domaine environnemental

- Les témoignages rapportés font état de bonnes conditions météorologiques sans vent dans la zone de l'évènement.
- Aucune trace de collision volatile ou autre n'a été relevée sur l'appareil.
- Aucun danger particulier pour l'aéronautique (à l'exception de la menace ALI toujours possible) n'est répertorié dans cette zone.

Aucune cause environnementale n'est retenue.

2.2.3 Causes liées au facteur humain

L'analyse du vol a mis en évidence un changement net du profil de vol 33 minutes après le décollage, passant d'un transit à 300 mètres environ à la très basse altitude puis franchement dans le domaine du VOLTAC jusqu'à l'accident.

Cette trajectoire en très basse altitude apparaît continue sur le trajet direct durant 16 minutes (avec un survol délibéré des pentes d'une colline et l'évitement d'une agglomération à vue), et pilotée en épousant les mouvements du terrain jusqu'au heurt de ligne.

Elle traduit ainsi la démarche volontaire de l'équipage de poursuivre le vol en TBH, puis en domaine VOLTAC.

L'index de la radiosonde réglé à zéro appuie cette hypothèse.

Cependant, le VOLTAC était exclu par les prescriptions de l'OMA, qui n'autorisaient qu'une possibilité de survol en TBH à initiative du CB.

Il convient donc de s'interroger sur les raisons qui ont pu amener un équipage qualifié et expérimenté à transgresser les ordres de vol et en particulier à entrer en collision avec une ligne électrique en dépit de leur savoir faire dans le domaine du vol tactique.

2.2.3.1 Facteurs ayant pu influencer le processus décisionnel de l'équipage

La possibilité de descendre en TBH, soit entre 50 et 150 mètres/sol, était prévue sur les ordres de vol. Cependant, la décision opportune d'évoluer délibérément sous le plancher de 50 mètres/sol a pu être influencée par les facteurs suivants.

➤ Caractère des vols de liaison :

Des témoignages soulignent la longue durée de ce type de liaison sans charge opérationnelle autre que le suivi de la navigation, ainsi que la monotonie des paysages survolés à 300 mètres. Ils révèlent le besoin habituel d'occuper le temps du transit en effectuant une partie de la navigation en TBH lorsque les conditions le permettent (météorologie, masse de l'appareil). L'autonomie de l'appareil ne permet pas de s'écarter du trajet direct, mais autorise un tel profil de vol à une vitesse moyenne de l'ordre de 200 à 220 km/h.

Ainsi, il apparaît que l'exécution d'une partie de ce type de vol en TBH est devenue une pratique courante, alors que ce profil, mentionné sur l'OMA, n'offre qu'une possibilité de pouvoir faire face à des aléas météorologiques ou techniques et ne constitue pas le profil de vol standard, prévu à 300 mètres.

➤ Pratique du VOLTAC en RCI :

Pour des raisons spécifiques au théâtre de la RCI, l'emploi tactique des hélicoptères est limité et ne représentait qu'un faible pourcentage du potentiel du parc Gazelle de Bouaké en avril.

L'entraînement aux procédures d'appui feu hélicoptère au profit des troupes au sol prime et représentait environ la moitié du potentiel d'activité en avril. Les témoignages recueillis auprès des équipages soulignent le caractère répétitif et routinier de ces missions.

Ainsi, le faible pourcentage des missions tactiques a pu générer un manque pour les équipages dont la pratique du vol tactique est le coeur du métier.

➤ Consignes opérationnelles ayant trait à la pratique du vol tactique en RCI :

Les consignes permanentes opérationnelles ont évolué peu de temps avant l'évènement en autorisant la pratique du vol tactique sur tout le territoire.

Cette évolution fait suite au constat du manque de pratique du vol tactique des équipages du mandat 11⁵⁴ pour des raisons conjoncturelles, et à la recommandation du CPSA⁵⁵ de la nécessité de maintenir les compétences des équipages dans ce domaine.

Ce point a été évoqué lors de la commission de sécurité des vols du BATALAT le 10 mai 2006, en précisant que, après modification des CPO, le chef de patrouille est autorisé à passer en vol tactique en fonction du besoin opérationnel et des contraintes techniques.

Ainsi, en dépit de la clarté de l'ordre de mission aérienne excluant explicitement le vol tactique, l'évolution récente des CPO concernant la pratique du VOLTAC en RCI, a pu, selon le degré d'interprétation de celle-ci, constituer un facteur favorisant dans la décision d'opportunité de l'équipage de passer de la TBH au domaine VOLTAC.

➤ Situation de l'équipage :

Le CB est hautement qualifié et expérimenté sur l'appareil. Il a effectué plusieurs séjours en RCI (c'était son troisième séjour), occupe les fonctions de chef des opérations aériennes de Bouaké et est considéré comme une référence au sein de l'unité.

Des raisons personnelles l'avaient conduit à prendre la décision de quitter le service actif en septembre 2006, soit environ deux mois après son retour en métropole. Ce séjour opérationnel en RCI était donc le terme de sa carrière.

Cette situation particulière du CB est à souligner, car elle a pu inciter ce dernier à profiter au maximum de ses derniers vols et affaiblir sa rigueur habituelle.

Le pilote, plus jeune, a déjà effectué de nombreuses missions avec le CB. Les deux pilotes se connaissaient bien et s'appréciaient.

⁵⁴ Mandat précédent, d'une durée de quatre mois.

⁵⁵ CPSA : Conseil permanent de la sécurité aérienne.

Ainsi, quel que soit le pilote aux commandes de l'appareil, une fausse synergie devait régner à bord par consentement mutuel des décisions prises ou des manœuvres effectuées : le CB laissant le pilote voler dans le domaine VOLTAC sans intervenir, ou à l'inverse, le pilote faisant totalement confiance au savoir faire du CB sans réaction.

Conclusion sur le processus décisionnel de l'équipage :

La décision de l'équipage de poursuivre le vol en TBH, puis dans le domaine VOLTAC en dépit de l'OMA, a pu être favorisée par les facteurs suivants :

- ❖ **Le caractère habituel d'exécuter une partie du vol en TBH pour rompre la monotonie des vols de liaison**
- ❖ **Le manque de pratique conjoncturel du vol tactique en RCI par rapport à la métropole et l'interprétation possible de l'évolution récente des CPO concernant le vol tactique**
- ❖ **La situation particulière du CB, proche du terme de sa carrière aéronautique**
- ❖ **La fausse synergie d'équipage, par acceptation mutuelle des décisions prises et des manœuvres effectuées.**

2.2.3.2 Trajectoire effectuée et vol tactique

Rappels sur le vol tactique : « *Le vol tactique est un vol de combat pratiqué en CAM V à une hauteur comprise entre la surface et 50 mètres par rapport à la surface. Destiné à limiter la détection et la vulnérabilité des aéronefs, il peut comporter des évolutions entre les obstacles. Ce type de vol se caractérise par le respect des trajectoires de sécurité et le choix d'une vitesse adaptée au terrain et à l'environnement opérationnel* »

L'exploitation des données GPS et l'observation de l'environnement dans la zone de l'évènement a montré que dans les dernières secondes du vol, l'appareil volait très bas, entre les arbres, à une vitesse d'environ 200 km/h.

À cette vitesse, l'appareil parcourt environ 50 mètres par seconde. La ligne, difficile à repérer selon l'axe d'arrivée, est d'autant moins visible que la trajectoire d'arrivée est basse.

Dans ces conditions, l'équipage ne pouvait percevoir les câbles qu'au dernier moment, rendant le succès d'un éventuel évitement très improbable.

Selon les préceptes du vol tactique, la configuration du lieu impose, sans reconnaissance préalable comme c'était le cas, d'évoluer selon deux possibilités :

- en première allure afin de pouvoir stopper l'appareil sur place si un obstacle se dévoile au dernier moment ;
- en trajectoire de sécurité au dessus des obstacles si la vitesse est supérieure à la première allure, en l'occurrence au dessus du niveau des arbres les plus hauts (environ 50 mètres).

Le non respect de cette méthode interdit tout échappatoire à un appareil évoluant au-delà de la première allure en dessous de la trajectoire de sécurité.

De plus, un vol de reconnaissance de la zone effectué en VOLTAC selon une trajectoire de sécurité a permis de déterminer le caractère particulièrement engagé d'une trajectoire à grande vitesse à cet endroit.

La trajectoire adoptée sans préparation par l'équipage ne respectait donc pas les règles fondamentales du vol tactique : elle ne pouvait trouver sa justification que dans la recherche de sensations procurée par le défilement à grande vitesse entre les obstacles.

2.2.3.3 Conclusion sur les causes liées au facteur humain

L'équipage a délibérément suivi une trajectoire non préparée, relevant du domaine du vol tactique, et ayant conduit à la collision avec la ligne électrique.

L'adoption de ce type de trajectoire en dépit des consignes a pu être favorisée par les facteurs suivants :

- ❖ **Le caractère habituel d'exécuter une partie du vol en TBH pour rompre la monotonie des vols de liaison**
- ❖ **Le manque de pratique conjoncturel du vol tactique en RCI par rapport à la métropole et l'interprétation de l'évolution récente des CPO concernant le vol tactique**
- ❖ **La situation particulière du CB, proche du terme de sa carrière aéronautique**
- ❖ **La fausse synergie d'équipage, par acceptation mutuelle des décisions prises et des manœuvres effectuées.**

Enfin, la trajectoire exécutée par l'équipage ne respectait pas les règles fondamentales du vol tactique. Ceci constitue la cause majeure de l'évènement.

3 CONCLUSION

3.1 Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement

3.1.1 Contexte de la mission

- Il s'agit d'un vol de liaison retour Abidjan-Bouaké suite à une intervention technique au peloton de réparation du BATALAT.
- Les ordres de vol mentionnent que le vol doit être effectué en CAM V, selon les consignes de survol du territoire de jour (300 mètres), avec possibilité de descendre en TBH (50 mètres), et excluent le vol tactique.

3.1.2 Indices importants

- L'appareil a heurté à mi-parcours une ligne électrique 3 brins à 20 mètres de hauteur environ et s'est écrasé 170 mètres en aval.
- L'appareil a engagé – et rompu – les trois câbles de la ligne dans l'espace délimité par le disque rotor et le coupe câble supérieur, sans que ce dernier n'ait été lui-même engagé. Une bielle de pas a été rompue par un impact direct d'un des câbles.
- La vanne de décharge du moteur a été trouvée fermée.
- La continuité des commandes de vol a été constatée.
- L'index de la radiosonde est réglé à zéro.

3.1.3 Domaine technique

- L'appareil était entretenu conformément au plan de maintenance en vigueur et les opérations effectuées sur l'appareil avant le vol ont été suivies par les tests et vols techniques respectifs qui n'ont signalé aucun dysfonctionnement ;
- Les expertises techniques sur le GTM, les éléments de transmission de puissance et les prélèvements de fluides n'ont révélé aucun endommagement antérieur au heurt de ligne.

3.1.4 Trajectoire reconstituée

L'exploitation des données mémorisées dans un GPS embarqué a révélé un changement de profil de vol avec l'adoption d'une trajectoire en TBH puis en domaine VOLTAC à grande vitesse, un quart d'heure environ avant l'évènement.

3.1.5 Situation de l'équipage

- L'équipage était composé d'un CB ancien très expérimenté et d'un jeune pilote. Les deux pilotes volaient régulièrement ensemble et s'appréciaient.
- Le CB était proche du terme de sa carrière aéronautique.

3.2 Causes de l'évènement

La collision avec une ligne électrique est à l'origine de la perte de contrôle et l'écrasement de l'appareil au sol.

Le heurt de ligne trouve son origine dans l'adoption par l'équipage d'une trajectoire non préparée dans le domaine du vol tactique, en transgression des consignes de survol.

Au-delà de cette transgression, le non respect des règles fondamentales du vol tactique constitue la cause majeure de l'évènement.

La décision de l'équipage de suivre une telle trajectoire en dépit des consignes a pu procéder des facteurs suivants :

- ❖ **L'habitude de descendre quelques instants en TBH afin de rompre la monotonie des vols de liaison**
- ❖ **Le manque de pratique du vol tactique en RCI par rapport à la métropole**
- ❖ **L'interprétation de l'évolution récente des CPO concernant le vol tactique**
- ❖ **La proximité du terme de la carrière aéronautique du CB**
- ❖ **L'acceptation mutuelle par les deux pilotes des décisions prises et des manœuvres effectuées.**

4 RECOMMANDATIONS DE SECURITE

4.1 Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement

4.1.1 Règles de vol tactique

Cet évènement, qui ne relève que du facteur humain, a révélé que les règles fondamentales du vol tactique n'avaient pas été respectées alors que l'équipage évoluait dans le domaine du VOLTAC sans préparation.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande de :

Rappeler aux équipages le respect impératif des règles fondamentales du VOLTAC en assurant la plus large diffusion de la connaissance de l'évènement

4.1.2 Consignes de survol

Il est apparu que les consignes de survol du territoire, dûment établies, formalisées, et connues des équipages, n'ont pas été respectées dans leur esprit.

Outre le passage délibéré en domaine VOLTAC en dépit des ordres de vol, il semble que l'équipage ait pris l'habitude de descendre en TBH lors de ces vols de liaison autant pour rompre la monotonie du vol que pour contrer les aléas météorologiques. Cette possibilité, mentionnée sur les ordres de vol, ne saurait constituer un mode de survol habituel, le profil normal étant prévu à 300 mètres au dessus du territoire de la RCI.

De plus, les consignes des CPO liées à la pratique du vol tactique ont évolué peu de temps avant l'évènement en autorisant, sous conditions, la pratique du vol tactique sur tout le territoire. Bien que ce point ait été évoqué et encadré en comité de sécurité des vols du BATALAT, il convient d'en assurer la communication avec vigilance auprès des équipages afin d'éviter toute confusion d'interprétation de leur part. Ce rôle peut être dévolu à l'OSV.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande de :

Rappeler aux équipages déployés en RCI l'esprit des consignes de survol du territoire et de relayer auprès d'eux, via l'OSV, toute évolution de celles-ci.

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

4.2.1 Devis de masse

Le décollage d'Abidjan a été entrepris au-delà de la masse autorisée (2136 Kg pour 2100 Kg maximum).

S'il décollait à 2100Kg depuis l'aire de décollage d'Abidjan, il disposerait de 7 minutes de vol de réserve au-delà de la réserve imposée fixée à 15 minutes de vol. Selon les témoignages, cette pratique de charger l'aéronef en carburant serait répandue chez les équipages Gazelle dans le but de pouvoir réagir à un problème d'autonomie sur le trajet. En RCI, le caractère soudain de certains phénomènes météorologiques et la rareté des points d'avitaillement incitent les équipages à emporter le maximum de carburant et à se trouver ainsi à la limite autorisée. Cette pratique de chargement « aux limites » peut entraîner des dépassements involontaires de la masse maximale autorisée en cas d'imprécision lors du calcul du devis de masse.

De plus, aucune dérogation n'est accordée pour le vol en surcharge pour cet appareil.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande de :

Rappeler aux équipages le respect impératif des masses maximales au décollage et la rigueur qui doit accompagner l'établissement du devis de masse.

4.2.2 Déclenchement de l'alerte

L'émission de la balise de détresse équipant l'appareil a permis, grâce à la couverture SARSAT, de localiser très rapidement le site de l'évènement et d'assurer le déclenchement des moyens de recherche et de sauvetage dans les meilleurs délais.

Le pilote survivant, grièvement blessé dans une zone inhabitée, doit certainement la vie à la rapidité de l'alerte et de mise en œuvre des moyens de secours.

Cependant, tous les types d'aéronefs, tels les Puma, ne sont pas équipés de balise de détresse.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande que :

Tous les aéronefs soient équipés de balise de détresse afin de bénéficier de la couverture SARSAT.

4.2.3 Officier de sécurité des vols

Il est apparu que le jeune officier occupant les fonctions d'OSV n'avait pas participé au stage des OSV de l'ALAT.

De plus, la réglementation en vigueur⁵⁶ précise que le poste doit être tenu par un officier supérieur.

Cette disposition, censée garantir l'ascendant de l'OSV auprès des équipages, n'était pas observée à cause de problèmes récurrents d'effectif.

Il conviendrait, dans un souci de meilleure efficacité, que le poste d'OSV soit honoré par un personnel, qui, à défaut d'être officier supérieur si la disponibilité des effectifs en opérations ne le permet pas, soit suffisamment ancien pour garantir l'ascendant indispensable à cette fonction auprès des équipages.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

Qu'un effort soit entrepris sur le respect des dispositions réglementaires lors de la désignation des officiers pour les postes d'OSV.

4.2.4 Equipements de navigation GPS

Selon le constat effectué lors de l'enquête et les témoignages recueillis, il apparaît que les équipages hélicoptère utilisent des GPS personnels en lieu et place des GPS type Garmin mis à disposition au sein des unités. La raison généralement invoquée est l'obsolescence relative de ces matériels par rapport aux appareils actuels du commerce, et la sensation de confort procuré par le fait d'utiliser un GPS avec une banque de données personnalisées.

⁵⁶ Décrite dans l'instruction ministérielle IM 3400 du 20 janvier 2004.

Il apparaît toutefois surprenant que les équipages accomplissent leur mission opérationnelle à l'aide d'instruments de navigation personnels dont les origines et les capacités peuvent se révéler très diverses et, *in fine*, ne répondre à aucune standardisation en termes d'ergonomie ou de précision, surtout en emploi opérationnel.

Il convient donc de s'interroger sur cette pratique, qui semble aujourd'hui habituelle et répandue.

L'utilité des GPS n'étant plus à démontrer, en conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

Qu'une réflexion soit menée sur la qualité du parc GPS actuellement en dotation dans les unités.

4.2.5 Enregistreur d'accident

L'appareil n'est équipé ni d'enregistreur de paramètres, ni d'enregistreur vocal.

Bien que la compréhension globale de cet évènement repose en grande partie sur l'analyse de la trajectoire rendue possible par l'exploitation des données GPS mémorisées, les paramètres de vol, d'attitude, de fonctionnement moteur ou encore la signalisation de pannes, non enregistrés, demeurent primordiaux pour la compréhension de la plupart des évènements, graves ou non.

De plus, un enregistreur vocal peut également restituer les conversations et traduire ainsi les actions et le comportement de l'équipage.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande que :

L'ensemble du parc hélicoptère soit équipé, dans la mesure du possible, d'enregistreurs de paramètres techniques et vocaux.

ANNEXE

Annexe 1 : Devis de masse _____ page 68

1 DEVIS DE MASSE

- Masse à vide équipée en ordre de vol de l'aéronef : 1555 Kg.
- Carburant porté sur la forme 11 : 450 litres soit 360 Kg.
- Masse des membres d'équipage équipés : 110 et 97 Kg.
- Lance leurres : 12 Kg.
- Lot de bâchage réduit : 6 Kg.
- Estimation de la masse de l'ensemble constitué par :
 - ⇒ Les rations / les bouteilles d'eau / les 2 sacs d'allègement / la documentation aéronautique : 18 Kg.
- Total : 2158 Kg au moment de la mise en route.
- Masse de carburant consommée durant les 10 minutes consacrées à la mise en route, au déplacement et à l'alignement de l'aéronef : 27 litres, soit 22 Kg.
 - ⇒ **Masse au décollage : 2136 Kg.**
- Masse de carburant consommée depuis le décollage jusqu'au lieu de l'évènement : 120 Kg (calculé pour un temps de vol de 50 minutes à 220 Km/h).
 - ⇒ **Masse estimée au moment de l'évènement 2016 KG.**
- Le plafond VOLTAC est estimé à 350 mètres pour une température de 37°C et une altitude estimée à 102 mètres.

Conclusion :

- L'aéronef décolle au-delà de la masse maximale autorisée.
- L'aéronef se situe dans le domaine VOLTAC au moment de l'accident.