



*Accident  
survenu le 26 juin 1998  
à Roura (973)  
à l'hélicoptère AS 350 B2  
« Ecureuil »  
immatriculé F-GOLD  
exploité par Héli-Inter Guyane*

**RAPPORT**  
**f-Id980626**

## A V E R T I S S E M E N T

*Ce rapport exprime les conclusions du BEA sur les circonstances et les causes de cet accident.*

*Conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'aviation civile internationale, à la Directive 94/56/CE et à la Loi n° 99-243 du 29 mars 1999, l'enquête technique n'est pas conduite de façon à établir des fautes ou à évaluer des responsabilités individuelles ou collectives. Son seul objectif est de tirer de l'événement des enseignements susceptibles de prévenir de futurs accidents.*

*En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.*

<b>Evénement :</b>	arrêt moteur dû à une avarie contenue. Collision avec le sol
--------------------	--

**Conséquences et dommages :** aéronef détruit  
pilote décédé

**Aéronef :** hélicoptère Eurocopter AS 350 B2 Ecureuil

**Date et heure :** vendredi 26 juin 1998 à 14 h 10 (heure légale)<sup>1</sup>

**Exploitant :** société Héli-Inter Guyane

**Lieu :** Roura (973), à proximité du Carbet Bamyrag

**Nature du vol :** Retour vers base après transport à la demande

**Personnes à bord :** pilote

**Conditions météorologiques :** estimées par le Centre d'Exploitation Régional de Cayenne-Rochambeau situé à 10 NM environ : vent 070° / 12 kt rafales à 15 kt, visibilité supérieure à 20 km, 3/8 de cumulus à 2 600 pieds, 2/8 d'altocumulus / cirrus, température 30,9 °C, QNH 1014 hPa.

## CIRCONSTANCES

Au cours d'un vol de liaison au-dessus de la forêt amazonienne entre la Crique Tortue et l'aéroport de Cayenne-Rochambeau, le moteur de l'hélicoptère s'arrête. Le pilote lance un appel de détresse et tente un atterrissage d'urgence. L'appareil pénètre violemment dans les arbres puis percute frontalement le sol. Le plancher de la cabine se déforme sous le choc.

---

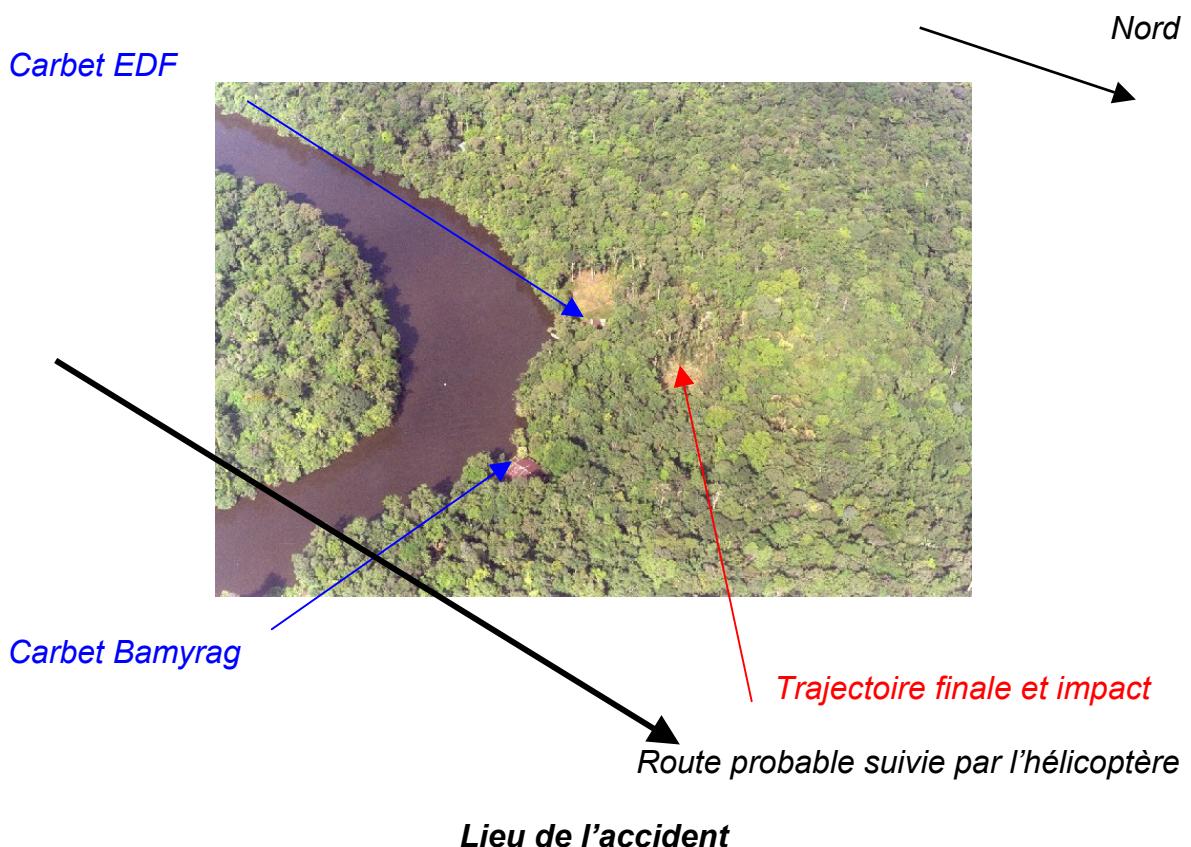
<sup>1</sup> Sauf mention contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure légale. Cette dernière correspond à l'heure en temps universel coordonné (UTC) moins deux heures.

## EXAMEN DE L'EPAVE ET DU SITE

### 1 - Le site

La zone de l'accident est plate. Elle est située en pleine forêt amazonienne à dix milles marins de l'aéroport de Cayenne-Rochambeau et à quatre-vingt mètres au nord de la rivière Comté, près du carbet Bamyrag.

La végétation, très dense en son sommet (canopée), est constituée d'arbres d'une hauteur moyenne de trente mètres environ. Les troncs de faible diamètre sont pratiquement lisses. Relativement espacés les uns des autres, ils laissent se développer sous la canopée des plantes et des arbustes de trois mètres environ. Le sol assez mou est composé de nombreux débris végétaux, de terre et d'humus.



La découpe faite par l'hélicoptère dans les arbres est sensiblement orientée au 260° et selon un angle fort par rapport à l'horizontale. Elle montre que l'appareil a pénétré dans la forêt avec une trajectoire finale sous forte pente et en virage à droite.

## 2 - L'épave

La partie avant droite de la cabine est encastrée dans le sol et repose sur le flanc droit. La partie arrière de la poutre de queue, rompue à partir du plan fixe, se trouve à proximité immédiate.

### 2.1 La cellule

La barque, plancher de la cabine, est repliée contre la cloison arrière suivant un angle de 90°. Cette déformation témoigne d'un choc violent avec le sol sur la partie avant droite de l'appareil, côté pilote. L'habitacle a éclaté à l'impact.



*L'épave vue de côté gauche*

La partie centrale de l'appareil, le moteur et pratiquement toute la poutre de queue n'ont été déformés ni par le contact avec la canopée ni par la collision avec le sol.



*L'épave vue de trois quarts avant droit*

La BTP est en place ainsi que le moyeu rotor principal (Starflex). Celui-ci présente des ruptures combinées en traînée et en flexion qui proviennent d'abord du choc avec la canopée (rupture en traînée) puis du contact final avec le sol (rupture en flexion). Les manchons sont éclatés.

Les pales principales, abîmées sur les bords de fuite et sur l'intrados, présentent

quelques impacts sur les bords d'attaque. Elles sont regroupées sur le côté droit en forme de parapluie inversé, perpendiculairement à l'épave. Cette forme et ce regroupement sont caractéristiques d'un faible régime rotor et d'une forte application de puissance de la part du pilote.

L'empennage arrière est séparé de la poutre de queue au niveau des plans fixes stabilisateurs. Les pales du rotor anti-couple sont rompues, l'une en flexion latérale, l'autre en flexion longitudinale. L'examen montre qu'elles avaient peu d'énergie au moment du choc avec les arbres.

Les flectors de la transmission arrière et de la liaison BTP-moteur sont peu endommagés.

L'arbre de transmission arrière est rompu en flambage et en torsion à l'aplomb de l'empennage arrière. Il est vrillé et coudé vers le côté gauche. La bielle de changement de pas des pales du rotor anti-couple est rompue et coudée parallèlement à la transmission arrière.



***Rupture à la jonction empennage – poutre de queue***

La génératrice-démarreur montre des traces d'arc électrique sur les branchements.

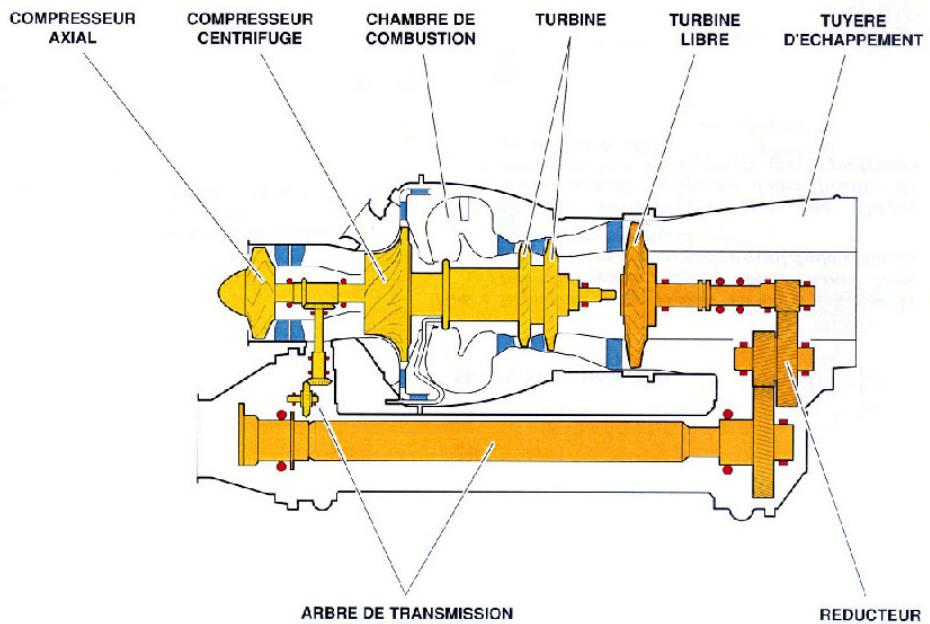
## 2.2 Le turbomoteur

Le turbomoteur n'a subi aucune déformation extérieure apparente. Seule une tuyauterie de retour d'huile au niveau du palier arrière est desserrée.

L'examen partiel, réalisé à l'aide d'un endoscope, a donné lieu aux constatations suivantes :

- le profil des pales du compresseur axial a été abîmé par ingestion de branches (module 2),
- les pales du premier étage de la turbine (module 3) sont rabotées en leur sommet,

- toutes les pales des premier et deuxième étages de la turbine présentent des arrachements de métal en leur sommet et des traces bleuâtres. Deux pales du deuxième étage ont été arrachées du disque,
- toutes les pales de la turbine libre (module 4) sont dégradées en bout de bord d'attaque. En outre, on note des dépôts de latérite en certains endroits de la turbine.



### MOTEUR - GENERALITES

#### 2.3. Commandes de vol et instruments de bord

La commande de pas cyclique et le palonnier droit ont été sectionnés par les sauveteurs. La commande de pas collectif est en position haute au-delà de la butée élastique mais n'a pas atteint la butée mécanique. La manette coupe-feu est en position arrière, le fil-frein est rompu. La manette de débit carburant est en position marche normale. La commande manuelle de frein rotor principal est en position « frein non serré ».

L'examen des transmissions mécaniques des commandes de vol n'a pas montré d'anomalie préalable à l'accident. Les endommagements et ruptures sont consécutifs à l'impact au sol.

Le panneau central des voyants d'alarme est détruit. Les instruments de bord sur la console sont partiellement détruits et n'indiquent pas de valeur significative. L'altimètre est calé à 1013 hPa et indique une altitude de 170 pieds. L'anémomètre indique une vitesse de soixante nœuds.

## RENSEIGNEMENTS COMPLEMENTAIRES

### 1 - Déroulement du vol

Après avoir déposé à la Crique Tortue vers 13 h 40 deux gendarmes et un caisson réfrigéré destiné au transport d'une dépouille mortelle, le pilote de l'hélicoptère F-GOLD repart vers 13 h 50 à destination de l'aéroport de Cayenne-Rochambeau.

A 13 h 53, il contacte le contrôleur de la tour de Cayenne-Rochambeau pour l'informer du décollage et de son retour vers l'aéroport. Le contrôleur lui indique que la fin du message radio est inaudible et lui demande de rappeler ultérieurement.

A 13 h 56, le pilote contacte à nouveau la tour de contrôle. La communication est toujours de mauvaise qualité. Le contrôleur comprend que le F-GOLD est à une hauteur de vol de mille pieds et qu'il arrivera à Cayenne à 14 h 10. Le pilote acquiesce ce collationnement.

Peu après 14 h 00, une personne voit passer assez bas un hélicoptère qu'il décrit de couleur claire à proximité de son domicile situé à deux kilomètres du lieu de l'accident puis le voit faire un demi-tour par la droite un peu plus loin avant de disparaître à l'horizon.

A 14 h 05, le pilote lance un appel de détresse indiquant qu'il se « crashe à dix nautiques de Cayenne ». L'appel est simultanément reçu par la tour de contrôle et par l'équipage d'un hélicoptère Fennec de l'Armée de l'Air en mission dans la zone et qui se porte spontanément sur le lieu présumé de l'accident, en coordination avec la tour de contrôle.

A 14 h 18, l'équipage du Fennec, guidé par la balise de détresse du F-GOLD, repère l'appareil accidenté dans la forêt, à 10 NM au sud de l'aéroport sur le radial 210°. Il donne à la tour de contrôle les coordonnées géographiques du lieu de l'accident.

A 15 h 07, les premiers secours arrivent sur place par voie aérienne et constatent le décès du pilote.

### 2 - Le pilote

Homme, titulaire d'une licence de pilote professionnel hélicoptère n° 1482, délivrée le 5 juin 1980. Son dernier certificat d'aptitude médicale a été obtenu le 22 avril 1998. Sa licence, prorogée le 29 avril 1998, était en état de validité jusqu'au 31 octobre 1998.

Il détenait les qualifications de types sur les hélicoptères suivants: SA 330 Puma, AS 365 C Dauphin, SE 3160 Alouette III, SE 3130 Alouette II, et 355 Ecureuil, Bell 206 et 47 G, Agusta A 109, Robinson R 22 et Sharck F 280. Sa qualification sur

AS 350 avait été obtenue le 6 mai 1981. Il était qualifié pour le vol aux instruments et le VFR de nuit.

Il avait passé son dernier contrôle en ligne le 21 mars 1998 sur hélicoptère AS 365 C Dauphin et son dernier contrôle hors ligne le 24 mars sur AS 355. Il avait également passé son contrôle hors ligne sur AS 350 le 23 mars 1998.

Il était titulaire d'une aptitude à la pratique d'activité particulière, délivrée le 21 mars 1997 par la société Héli-Inter, et d'une carte d'habilitation pour délivrer les APRS (approbation pour remise en service), délivrée le 1<sup>er</sup> juillet 1997 par la société Héli-Inter Guyane et valide jusqu'au 2 janvier 1999. La carte d'habilitation permet à certains pilotes de la société, lorsqu'ils sont en détachement pour plusieurs jours sans mécanicien, de signer les APRS après les visites journalières et après des dépannages mineurs.

Il était employé par la société Héli-Inter Guyane depuis le mois de juillet 1997.

En février 1997, il totalisait 6 440 heures de vol dont 1 040 sur le type d'appareil accidenté (ces renseignements ont été fournis par Héli-Inter).

### **3 - L'aéronef**

#### **3.1 La cellule**

L'hélicoptère léger mono turbine AS 350 immatriculé F-GOLD a été construit en 1992 par la société Aérospatiale, Division Hélicoptères, sous le numéro de série 2590.

Au moment de l'accident, il totalisait 2 769 heures de vol depuis livraison.

La dernière visite de type S (visite quatre cents heures) a été faite le 6 mai 1998.

#### **3.2 Le turbomoteur**

Le turbomoteur de type ARRIEL 1D1 a été construit en 1991 par la société Turboméca et portait le numéro de série 9149.

Au moment de l'accident, il comptait 1 935 heures de fonctionnement depuis livraison. Le module 3, numéro 9352, totalisait 1 795 heures de fonctionnement.

Les informations contenues dans le livret moteur depuis le 27 mars 1991, confirment que le suivi technique et l'entretien ont été réalisés conformément aux indications du constructeur. Les consignes de navigabilité ont toutes été appliquées.

L'étude des comptes rendus de maintenance journaliers précédant l'accident ne fait apparaître aucune mention d'anomalie du moteur ni de dépassement de température de fonctionnement en service.

L'historique des opérations majeures sur le moteur et le module 3 équipant l'appareil au moment de l'accident figure dans le tableau ci-après :

Date	Observations	Moteur S/N 9149		Module 3 S/N 9352	
		TSN (heures)	CSN (cycles)	TSN (heures)	CSN (cycles)
21/08/1994	Changement modules 2 et 3 Module 3 S/N 9317 remplacé par module 3 S/N 9352	506	643>623*	366	622
14/10/1994	Dépose GTM Changement pales TG2 avec application TU 204 (protection plasma sur pales TG2) par TEC (Turboméca Engine Corporation)	585	819		
30/09/1995	GTM installé sur F-GOLD	732	1 308		
27/05/1997	Dépose GTM et pose sur F-OGVR	1 369	2 222		
02/07/1997	Renouvellement CDN	1 455	2 341		
15/03/1998	Dépose GTM et pose sur F-GOLD	1 763	2 771		
06/05/1998	Dernière visite M1 (100 heures)	1 867	3 049		
22/05/1998	Changement génér-démarreur	1 935	3 099	1 795	3 078

\* 623 : chiffre relevé sur les documents de bord – 643 : chiffre BEA

#### 4 - Mesures prises consécutivement à l'accident

La rupture de l'interpale du disque du deuxième étage de turbine, à l'origine de l'accident du F-GOLD, est le premier événement de cette nature observé par le constructeur en 5 830 000 heures de fonctionnement sur ce type de moteur.

Suite à cet événement et à six autres cas postérieurs analogues, la société Turboméca a émis le 19 novembre 1999 la lettre service « Information Alerte » n° 1920/99/ARRIEL/50 dans laquelle elle impose aux opérateurs et aux centres agréés des mesures conservatoires sur toute la flotte ARRIEL-1-D, à savoir :

- des vérifications visuelles portant sur l'état d'alignement des pales et sur les freins de pales des disques du module 3 lors de tout désassemblage du palier arrière,
- l'écoute de bruit du moteur après le dernier vol de la journée,
- un contrôle particulier sur l'ensemble disque et pales du deuxième étage

- lors de tout retour en centre de réparation,
- la limitation des pales du disque du deuxième étage de la turbine à dix mille cycles.

Le constructeur rappelle dans cette lettre service que le non-respect par les équipages des limitations d'utilisation des régimes de puissance peut conduire à un endommagement prématué du moteur.

## ESSAIS ET RECHERCHES

### 1 - Analyse spectrale des communications radio

Les communications émises par le pilote (transcription en annexe), depuis le décollage de la crique Tortue jusqu'à son message de détresse, ont fait l'objet d'une analyse spectrale.

Compte tenu de la qualité médiocre de l'enregistrement des radio-communications, très peu d'informations spectrales intéressantes ont été obtenues. Néanmoins, un pic de fréquence à 332 Hz a permis d'identifier avec précision l'alarme « régime rotor mini » tout au long des dix secondes que dure le message de détresse lancé par le pilote.

### 2 - Examen d'échantillons d'huile moteur et de liquide hydraulique

Un échantillon d'huile prélevé sur le moteur a été analysé. Il s'agit d'une « huile synthétique TN 600 », correspondant à la spécification MIL-L-23699/E. La présence d'aluminium à raison de six particules par million (6 ppm) plus ou moins fines a été mise en évidence sans que l'origine ait pu en être déterminée. La norme pour une huile neuve ne dépasse pas 2 ppm. Cependant, cette teneur n'était pas de nature à affecter le bon fonctionnement du moteur, mais elle témoigne vraisemblablement des dégradations qui ont eu lieu dans les derniers instants du vol.

Un échantillon de liquide hydraulique a été prélevé, et son examen montre qu'il répond à la spécification AIR 3520/B.

### 3 - Examen des prélèvements de carburant

Différents échantillons de kérosène prélevés, d'une part sur l'épave au niveau de la purge et dans le réservoir, d'autre part dans la soute de l'aérodrome de Cayenne-Rochambeau, ont été analysés. Ils proviennent du même lot de carburant Jet A1 et sont conformes aux limites de la spécification AIR 3405/D concernant le kérosène F-35 ou Jet A1.

### 4 - Examen des servocommandes, du filtre carburant et de la génératrice

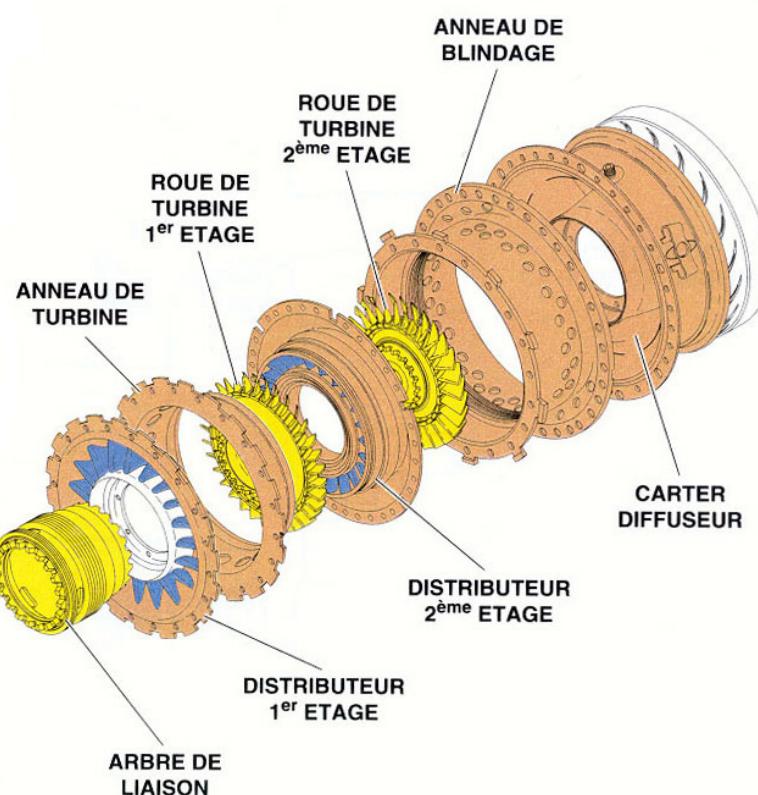
Les examens réalisés sur les servocommandes, sur le filtre carburant et sur la génératrice-démarreur n'ont montré aucune anomalie ayant pu altérer le fonctionnement du moteur.

## 5 - Examen du turbomoteur

Le turbomoteur ARRIEL 1D1 est du type turbine libre à prise de mouvement avant par arbre de transmission de puissance extérieure. Il est composé de cinq modules tous remplaçables séparément :

- module 1, constitué par l'arbre de transmission et le boîtier accessoire,
- module 2, constitué par le compresseur axial,
- module 3, constitué par la partie haute pression du générateur de gaz,
- module 4, constitué par la turbine libre,
- module 5, constitué par le réducteur.

Compte tenu des dégradations constatées lors de l'examen endoscopique réalisé sur le site (absence de deux pales sur le disque du deuxième étage de turbine), et confirmées lors de l'ouverture du moteur, seul le module 3, particulièrement son disque de deuxième étage de turbine a fait l'objet d'examens complémentaires.



***Turbine haute pression***

## 5.1 Examen du disque du deuxième étage de turbine

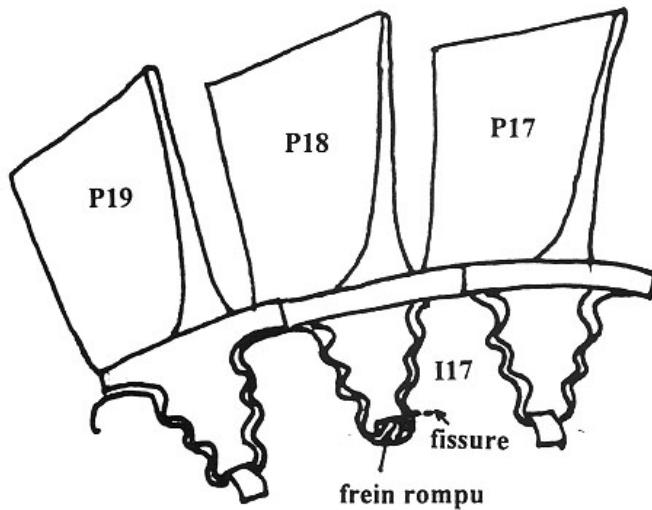
Vingt-cinq pales sur vingt-sept sont positionnées sur le disque du deuxième étage de turbine. Deux pales manquent. Par convention, les pales ont été numérotées de 1 à 27 dans le sens horaire à partir du repère zéro apparaissant sur la face arrière du disque. De même, les interpales<sup>(2)</sup> ont été numérotés de 0 à 26.

L'interpale 13 est rompu et les pales 13 et 14 qui l'encadrent ont été éjectées. Un fragment de l'une d'elles a été retrouvé dans le carter. Les freins de pale correspondants n'ont pas été retrouvés.

Toutes les pales du disque présentent des arrachements en leur sommet, consécutifs à l'éjection des pales 13 et 14. On remarque la présence de latérite sur le pourtour du disque.

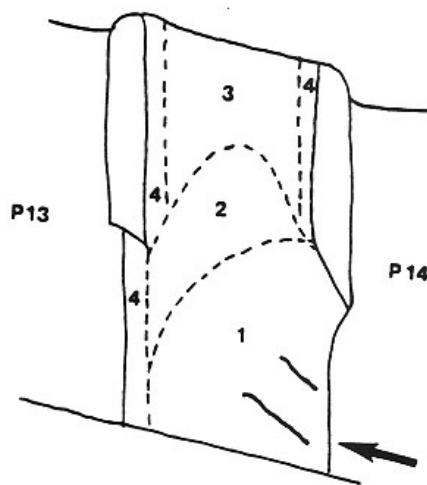
Les observations marquantes sont détaillées ci-après :

- il n'y a pas eu d'augmentation du diamètre du disque,
- sur la face avant du disque, on note la rupture du frein de la pale 18 au droit du pli avant. La cassure est oxydée et donc relativement ancienne,
- sur la face arrière du disque, on note un recul de 0,5 mm des pales 11, 12, 16, 18, 23 et 24,
- la rupture du frein de la pale 18 (croquis ci-dessous) s'est produite à environ un millimètre en arrière du pli avant. Le faciès est très oxydé.



<sup>2</sup> Les pales s'emboîtent sur le disque de turbine entre deux saillies aux géométries particulières. Ces saillies sont appelées interpales.

- la rupture de l'interpale 13 s'est produite sur deux plans différents, comme le montre le schéma ci-dessous,



Remarque : on distingue principalement :

- la zone 1 de coloration marron foncé, en forme de lunule occupant environ la moitié arrière de la cassure,
- la zone 2 intermédiaire, de couleur bleu - ocre,
- la zone 3 de coloration bleu turquoise, occupant environ le tiers de la cassure.

L'aspect de la zone 1 laisse présumer qu'il s'agit de la zone la plus ancienne sans toutefois que l'on puisse la dater. Sa forme en lunule montre qu'il s'agit d'une zone de fissuration progressive (fatigue puis fatigue-fluage et corrosion sous contrainte).

- on note des fissures au droit du pli central des pales 12 et 23.

Les matériaux constituant le disque, les pales et les freins ne présentent aucun défaut métallurgique d'origine. Les examens métallurgiques montrent des modifications structurales significatives du matériau constituant les freins. Les valeurs de dureté<sup>(3)</sup> obtenues traduisent un vieillissement important du matériau.

## 5.2 Examen du premier étage de la turbine

Sur le disque du premier étage de turbine :

- on ne note aucune modification du diamètre du disque,
- aucun frein n'a reculé et aucun endommagement du type fluage n'a été constaté sur le frein examiné. Les valeurs de dureté sont normales,
- les pales présentent une forte dégradation par oxydation à chaud.

<sup>3</sup> La valeur de dureté de l'alliage constituant les freins de pales augmente sensiblement avec des expositions plus ou moins prolongées à des températures élevées.

Les matériaux constituant le disque, les pales et les freins ne présentent aucun défaut métallurgique d'origine. Les examens métallurgiques montrent des modifications structurales significatives du matériau constituant les pales.

### **5.3 Scénario probable de rupture de l'interpale**

Un scénario probable de rupture de l'interpale peut être établi compte tenu de toutes les observations faites au cours des examens métallurgiques. Ce scénario est en trois temps :

- une surchauffe sur la turbine haute pression,
- le vieillissement prématué des freins,
- le recul des pales et une surchauffe locale.

#### **5.3.1 Surchauffe sur la turbine haute pression**

Les pales du premier étage de la turbine et les freins du disque du deuxième étage de la turbine présentent des modifications structurales qui traduisent un vieillissement prématué des matériaux par une température excessive due à des contraintes sévères en exploitation.

#### **5.3.2 Vieillissement prématué des freins**

Le matériau qui compose les freins est un alliage du type Nimonic 90. L'exposition à des températures anormalement élevées a entraîné un endommagement par flUAGE et oxydation de ce matériau qui a conduit au dépliage, voire à la rupture du pli avant de certains freins.

#### **5.3.3 Recul des pales et augmentation locale de température**

Le dépliage ou la rupture des freins a entraîné le recul des pales. Ce recul a augmenté les contraintes sur l'arrière des interpales et a engendré une fuite de gaz de combustion vers la périphérie du disque, entraînant un accroissement local de la température sur les interpales alors que cette partie est normalement soumise à des températures modérées.

La combinaison de la température et des contraintes élevées a ensuite provoqué une zone d'amorce. A partir du moment où l'amorce était présente, le processus est allé en s'amplifiant et en s'accélérant. En fin de mécanisme, l'interpale s'est rompu, libérant les deux pales adjacentes.

## 6 - Témoignages

### 6.1 Témoignage d'un habitant

Un habitant du carbet « trou du diable » situé le long de la rivière Comté à 1,5 km au sud-est du lieu de l'accident, a rapporté les faits suivants :

- de sa terrasse il a vu vers 14 h 00 un hélicoptère de couleur marron clair passer environ cent mètres au-dessus de son habitation, suivant une direction sud-nord ; il n'y a pas prêté plus d'attention car il a l'habitude de voir les hélicoptères passer au-dessus de chez lui,
- quelques minutes après, il a remarqué que l'appareil faisait demi-tour par la droite à hauteur d'un carbet où certains hélicoptères ont l'habitude de venir ; sa hauteur était plus faible,
- quelques instants après, l'hélicoptère a fait de nouveau demi-tour, comme s'il repartait,
- il pense que l'hélicoptère avait ralenti mais il n'a rien remarqué d'anormal concernant le bruit du moteur,
- il avait vu passer cet hélicoptère dans le sens nord-sud une heure auparavant.

### 6.2 Témoignage d'un employé de la société

Un employé de la société Héli-Inter a rapporté aux enquêteurs que le pilote lui avait déclaré la veille de l'accident que, s'il avait une avarie en vol au-dessus de la forêt, il tenterait de se poser dans le lit de la rivière, dans la mesure où celle-ci est souvent à proximité immédiate lors des transits.

### 6.3 Témoignage de deux gendarmes

Deux gendarmes de la Brigade de recherche de Cayenne avaient fait le voyage Rochambeau-Crique Tortue une demi-heure plus tôt à bord du F-GOLD. Tous deux rapportent, qu'au cours du vol qui a duré vingt minutes environ, ils n'ont constaté aucune anomalie sur l'appareil. Ils ajoutent que le pilote leur paraissait expérimenté. C'était pour eux un vol normal.

## 7 - Exploitation des hélicoptères en pays chauds

La Guyane, située en zone équatoriale, se caractérise par une très forte humidité relative de l'air (voire d'air salin) et des températures élevées. Les vols d'hélicoptères, dont un quart correspond à du travail aérien et trois quarts à du transport de fret et de personnel, se font très souvent à masse proche de la masse

maximale. En effet, les hélicoptères volent avec le plus de carburant possible pour avoir un maximum d'autonomie. Les aires de poser nécessitent souvent des atterrissages sous angle fort qui sollicitent la mécanique dans des plages hautes de températures de fonctionnement. La nature des sols en forêt fait que les turbomoteurs ingèrent, entre autres choses, des particules de latérite qui, en plus de les user prématûrement, entraînent des dégradations importantes des performances. Par ailleurs, les nombreux démarriages sur site sont réalisés à partir de l'énergie fournie par la batterie de l'aéronef, ce qui peut parfois amener les moteurs à des températures élevées, même si elles restent dans le domaine défini par le constructeur.

En résumé, les moteurs des hélicoptères en Guyane fonctionnent la plupart du temps dans les plages hautes des températures de fonctionnement. Ceci nécessite une maintenance accrue, comme le recommande le constructeur, et une grande vigilance en vol de la part des pilotes.

La maintenance est réalisée par l'atelier agréé d'Héli-Inter Guyane suivant le Plan Recommandé d'Entretien du constructeur. Celui-ci, dans son chapitre 2.4 « conditions d'emploi particulières », précise qu'en plus des opérations de maintenance courantes, il convient d'appliquer les mesures préventives recommandées dans la carte de travail n° 05.52.00.301 relative aux conditions climatiques sévères.

Quant aux pilotes, ils déclarent utiliser leur appareil dans les limites autorisées par le manuel de vol. On ne peut cependant exclure, lors de certains vols, des dépassements non notés ou non perçus ponctuels des températures maximales autorisées, lesquelles peuvent fragiliser au fil du temps la mécanique et accélérer le vieillissement de certains matériaux comme celui des freins de pale des turbines.

## **ANALYSE**

Les examens métallurgiques ont confirmé la panne du moteur en vol à la suite de la rupture de l'interpale du disque du deuxième étage de turbine. Cette rupture est la conséquence d'une surchauffe de cette partie du moteur. Un tel phénomène ne peut s'inscrire que dans le temps. Il peut être lié à l'exploitation et/ou à la maintenance de l'hélicoptère.

L'avarie en vol sur ce moteur a été contenue. Elle a provoqué l'arrêt du moteur qui a conduit le pilote à procéder à un atterrissage d'urgence.

L'arrêt moteur en vol fait partie des procédures d'urgence contenues dans le manuel de vol. En zone plate et dégagée de tout obstacle, l'atterrissement d'urgence ne pose pas de difficulté majeure et les pilotes y sont régulièrement entraînés. Il n'en est pas de même dans le cas du F-GOLD dans la mesure où, quand la panne survient, il survole une zone inhospitalière. L'application d'une procédure d'urgence dans ces conditions est beaucoup plus délicate.

Il convient d'analyser successivement la panne moteur proprement dite, l'entretien et la phase finale du vol.

### **1 - La panne moteur**

Les examens pratiqués sur le moteur ont mis en évidence des dégradations essentiellement sur le disque du deuxième étage de turbine ainsi que sur les freins de pales.

Le scénario de rupture détaillé au paragraphe 5.3 met l'accent sur une surchauffe locale sur la turbine haute pression qui a changé les caractéristiques des matériaux constituant les freins pour conduire finalement à la rupture de l'interpale.

En dehors de dysfonctionnements particuliers qui n'ont pas été mis en évidence lors de l'examen du moteur, deux sources possibles d'échauffement liées à l'exploitation de ce type d'appareil en Guyane peuvent être envisagées :

- sollicitation du moteur dans la plage haute des températures T4,
- démarrages autonomes fréquents sur sites sans groupe de parc conduisant souvent, mais ponctuellement, à des températures T4 proches des limites d'utilisation.

#### **1.1 Source liée à l'utilisation dans la plage haute de température T4**

Il est fort probable que le moteur ait été utilisé à des températures T4 proches des limitations hautes recommandées par le constructeur pendant des durées importantes, provoquant des contraintes thermiques qui ont fatigué les matériaux.

L'incidence de ces contraintes thermiques et les conséquences qui en découlent sur les matériaux sont impossibles à déceler en exploitation, et difficiles à repérer en maintenance, même dans le cadre de révisions recommandées par le constructeur. Seul un examen au boroscope ou un démontage du module 3 du moteur peut mettre en évidence cet impact. Qui plus est, cette intervention non programmée n'a pas de raison d'être tant qu'aucun pilote ne signale un dépassement de température T4.

## 1.2 Source liée aux démarrages autonomes sur groupe de parc

Les hélicoptères en Guyane sont exploités en transport public et en travail aérien. Dans ce dernier cas, nombreux sont les arrêts et les démarrages moteur sur site. Le nombre des cycles que constitue les arrêts/démarrages est important. Chaque démarrage sur site est réalisé grâce à la tension de la batterie de l'appareil : c'est un démarrage autonome. Ces démarrages peuvent se reproduire plusieurs fois par heure, ce qui à la longue affaiblit la batterie. Les démarrages effectués à partir d'une batterie faible génèrent la plupart du temps une T4 importante pendant un court instant, même si elle reste dans les limites imposées par le constructeur. Les matériaux qui constituent les disques de turbine et les freins subissent alors des contraintes thermiques soudaines mais dont les effets immédiats sont imperceptibles.

Ainsi, il apparaît que le moteur a dû subir le cumul des contraintes thermiques de deux natures différentes, ponctuelles dans un cas et continues dans l'autre, et que ces deux sources d'échauffement n'avaient pas d'impact perceptible à court terme sur son fonctionnement.

Compte tenu de ce qui précède, la panne du moteur n'était pas prévisible et elle a été d'autant plus brutale qu'aucun indice annonciateur n'avait été détecté lors des vols précédents.

## 2 - L'entretien

L'enquête n'a pas mis en évidence de défaillance liée à la maintenance de l'appareil. Trois mille heures de fonctionnement du moteur se sont écoulées depuis la dernière grande visite sans problème majeur rapporté. En l'absence d'un dispositif particulier, il n'était pas possible de surveiller précisément l'évolution des paramètres sur le F-GOLD.

L'étude des documents de maintenance montre que tous les entretiens recommandés ont été réalisés dans les délais recommandés par le constructeur et dans des ateliers agréés.

En revanche, compte tenu de l'utilisation très particulière de ces appareils en pays chaud, il apparaît nécessaire de faire des contrôles périodiques plus ciblés tels que ceux recommandés par le constructeur suite à cet accident et à six autres cas ultérieurs.

### 3 - La phase finale du vol

Après que la panne soit survenue, le pilote a réalisé un demi-tour par la droite suivi d'un second, qui s'est arrêté en cours de virage dans la cime des arbres.

Les traces laissées dans la végétation (cf. chapitre 1) montrent que l'appareil était en virage à droite et avec une pente importante.

La réussite d'un atterrissage d'urgence réalisée en autorotation dépend de trois facteurs principaux :

- la hauteur de départ de l'autorotation,
- le pilotage de l'autorotation,
- la nature du terrain.

#### 3.1 La hauteur de départ de l'autorotation

Le constructeur indique que la hauteur nécessaire pour effectuer dans de bonnes conditions une autorotation en demi-tour sur un AS 350B est d'au moins trois cents mètres. Compte tenu de la masse de l'appareil au moment de l'avarie moteur, on peut estimer le temps de descente à vingt-sept secondes.

Un témoin rapporte avoir vu l'hélicoptère passer au-dessus de son domicile à une hauteur qu'il estime à cent mètres. Il ajoute qu'il l'a vu faire deux demi-tours successifs par la droite avant de disparaître de son champ de vision.

Si l'appareil était effectivement à cent mètres, comme l'indique le témoin, le pilote n'avait pas la possibilité de faire un demi-tour en autorotation, et encore moins deux.

Compte tenu de ce qui précède, il est donc probable que l'hélicoptère évoluait à une hauteur légèrement inférieure à trois cents mètres. De plus, l'heure indiquée par le témoin étant voisine de la transmission à la tour de Cayenne relative à la panne, le premier demi-tour a eu lieu très peu de temps après la panne.

#### 3.2 Le pilotage de l'autorotation

La réussite de l'autorotation repose en grande partie sur la rapidité du pilote à baisser la commande de pas collectif.

Le pilote du F-GOLD totalisait 6 440 heures de vol au moment de la panne. Son temps de réaction est impossible à déterminer de façon certaine. Toutefois, même s'il a agi rapidement, ce qui est probable compte tenu de son expérience et des réflexes acquis, il est établi que pendant au moins dix secondes (durée de son message de détresse), il a piloté son autorotation avec un régime qui ne lui permettait pas de la réussir. L'enquête n'a permis de déterminer ni le moment ni la cause de la baisse de régime rotor. Avec la faible hauteur dont il disposait, même si l'avarie moteur s'est produite aux environs de trois cents mètres, il lui a été impossible de récupérer un régime rotor suffisant pour piloter dans de bonnes

conditions la phase ultime de l'autorotation, à savoir le flare. Qui plus est, le dernier demi-tour s'étant effectué en partie vent arrière (vent 070° / 12 à 15 kt), la vitesse verticale a augmenté dans des proportions importantes. De ce fait, le flare, qui permet normalement de diminuer très efficacement les vitesses horizontale et verticale, a été sans grand effet. Ceci peut avoir conduit le pilote à tirer instinctivement sur la commande de pas général pour tenter vainement d'amortir un choc inévitablement violent avec la végétation.

### 3.3 L'autorotation terminée dans les arbres

A la perception de la panne moteur, il importe de décider très rapidement du point d'atterrissage, à plus forte raison lorsque la région survolée est inhospitalière.

La zone survolée par le F-GOLD au moment de la panne moteur est recouverte dans sa presque totalité par la forêt amazonienne, inhospitalière. Seules la rivière Comtée et quelques rares clairières exiguës peuvent fournir une zone un peu moins défavorable à l'atterrissage des autorotations.

Dans ce cas particulier, le pilote du F-GOLD n'avait que deux solutions :

- atterrir dans la petite clairière du carbet EDF,
- atterrir dans le lit de la rivière. Il avait indiqué la veille qu'il privilégierait cette solution en cas de problème.

Qu'il ait choisi l'une ou l'autre de ces solutions, le pilote a certainement cherché à éviter de terminer son autorotation dans les arbres mais il n'y est pas parvenu.

La réalisation de deux demi-tours successifs permet de penser que le pilote a été amené à changer de stratégie au cours de sa descente forcée, ce qui lui a laissé moins de latitude au cours de la dernière phase. En effet, une autorotation engagée au-dessus d'une forêt est très difficile à terminer en sécurité. L'atterrissage s'achève sur le faîte des arbres, puis l'aéronef tombe sur le sol de façon aléatoire tout en étant freiné par les branchages. La chute finale est totalement incontrôlée par le pilote.

Une méthode empirique de fin d'autorotation dans les arbres est suggérée dans le manuel de vol. Elle consiste à réaliser un flare accentué juste avant le faîte des arbres et à maintenir une assiette à cabrer de telle sorte que la poutre de queue pénètre en premier dans la végétation et que l'appareil poursuive sa chute vers le sol cabine vers le ciel. Pour aléatoire que soit cette procédure, elle vise à favoriser un contact de l'appareil avec les arbres et avec le sol par l'arrière afin de protéger le pilote d'un choc frontal et de la chute de la boîte de transmission principale sur l'habitacle.

Dans le cas du F-GOLD, le contact avec la canopée s'est fait avec une vitesse verticale importante du fait du faible régime rotor et le pilotage du flare a été inefficace. De plus, les arbres dans cette région ne possédant des branches qu'à leur sommet, une fois l'épaisseur supérieure traversée, l'appareil tombe en chute quasiment libre jusqu'au sol.

## CONCLUSION

L'accident résulte d'une avarie contenue du moteur, due à une surchauffe préalable, non détectable dans les conditions d'exploitation du F-GOLD. La faible hauteur de vol en regard de la nature du terrain survolé, la rareté des solutions de poser en cas de panne, la conduite de l'autorotation avec un faible régime rotor et le passage vent arrière en fin d'autorotation sont les causes de l'accident. La pénétration dans des arbres, dont la nature n'a que peu ralenti la chute de l'aéronef, a contribué à la gravité de l'accident.

## *Annexe*

Extrait de la transcription des radiocommunications

## ACCIDENT DU 26 JUIN 1998

### F-GOLD

#### Transcription des fréquences 118,10 - 119,9 - 126,9 MHz Fréquences regroupées

STATION EMETTRICE	STATION RECEPTRICE	HEURE UTC (H.M.S)	COMMUNICATIONS
F-GOLD	TWR	16 42 22	Cayenne Info Lima Delta, on arrive à la Crique Tortue pour quitter.
TWR	F-GOLD	16 42 30	Oui crique Tortue pour euh... Lima Delta. OK à tout à l'heure
F-GOLD	TWR	16 42 33	Tout à l'heure
FGOLD	TWR	16 53 51	L'info Lima Delta, re-bonjour
TWR	F-GOLD	16 53 59	Lima Delta ?
F-GOLD	TWR	16 54 03	Lima Delta redécollé de la crique Tortue vers la DZ... (fin de message haché)
TWR	F-GOLD	16 54 10	Oui Lima Delta, j'ai pas bien reçu la fin du message ! Vous me rappelez en l'air pour euh... un nouveau message
F-GOLD	TWR	16 54 17	Reçu.
F-GOLD	TWR	16 56 06	Cayenne info Lima Delta ?
TWR	F-GOLD	16 56 20	Lima Delta, j'écoute.
F-GOLD	TWR	16 56 21	Lima delta en route vers le... (illisible)... des installations... (illisible).
TWR	F-GOLD	16 56 31	Cayenne à 17 h 10 Lima Delta et 1 000 pieds, c'est correct ?
F-GOLD	TWR	16 56 36	Affirm
TWR	F-GOLD	16 56 38	OK rappelez en entrée de CTR
F-GOLD	TWR	16 56 40	OK
?	?	16 58 10	... (Brouillage, ou porteuse)...
?	?	16 58 24	... (Brouillage, ou porteuse)...
PENTA	TWR	17 05 34	Stand by sir
FGOLD	TWR	17 05 41	(très fort sifflement) MAY DAY - MAY DAY - MAY DAY ... MAY DAY - MAY DAY - MAY DAY,... le Lima Delta on crash à dix nautiques de Cayenne.
CTM1647	TWR	17 06 04	Cayenne de Cotam 1647 vous avez entendu le MAY DAY ?
CTM1647	TWR	17 06 14	Cayenne Cotam 1647 ?
TWR	CTM1647	17 06 17	Cotam 1647 vous me recevez ?
CTM1647	TWR	17 06 19	Oui, vous avez entendu le MAY - DAY ?

STATION EMETTRICE	STATION RECEPTRICE	HEURE UTC (H.M.S)	COMMUNICATIONS
TWR	CTM1647	17 06 22	Affirmatif, ça parvenait d'un hélico qui venait de la crique Tortue, et il estimait Cayenne à 10, donc il est à 4 minutes de Cayenne, donc dans le... dans le sud du terrain.
CTM	TWR	17 06 34	Sud du terrain, ben euh... crique Tortue, il avait annoncé 10 nautiques du terrain.
TWR	CTM1647	17 06 40	Oui, dans le deux quatre deux.
TWR	CTM1647	17 12 20	D'après nos calculs donc ici, ça devrait être entre euh... dans le secteur de Cacao.
CTM1647	TWR	17 12 24	Reçu. On reçoit la balise emergency sur VHF ... On effectue un homing sur le... sur le lieu du crash.
TWR	CTM1647	17 12 38	Vous recevez la balise de détresse, confirmez ?
CTM1647	TWR	17 12 40	Affirm, sur le monitor.
CTM1647	TWR	17 13 24	L'info du Cotam seize quarante sept ?
TWR	CTM1647	17 13 27	Seize quarante sept, j'écoute.
CTM1647	TWR	17 13 28	Oui, vous déclenchez une euh... une Alerte quelque part ?
TWR	CTM1647	17 13 31	Oui, c'est déjà fait, oui.
CTM1647	TWR	17 13 32	Ah ! D'accord.
CTM1647	TWR	17 18 30	Oui, ben nous estimons que la vertical le point euh avec la balise homing... Je peux vous passer les coordonnées si vous voulez.
TWR	CTM1647	16 18 39	Je vous écoute.
CTM1647	TWR	17 19 27	Euh... Cotam seize quarante sept, vous êtes prêt pour noter ?
TWR	CTM1647	17 19 28	Je vous écoute.
COTAM	TWR	17 19 29	Donc ce sera, le Nord 04 48 63, Ouest 052 24 70
TWR	CTM1647	17 19 46	J'ai bien noté, et en radial / distance de Cayenne ?
CTM1647	TWR	17 19 50	Euh... stand by.
CTM	TWR	17 20 13	Ouais, on est sur le deux cent... deux cent dix environ pour 10 nautiques.
TWR	CTM1647	17 19 19	Bien reçu.
CTM	TWR	17 19 24	C'est bien ce qu'il a passé tout à l'heure quand j'ai entendu le MAY DAY, MAY DAY, 10 nautiques des installations.
CTM1647	TWR	17 19 32	Et d'après notre... la balise homing, on est pratiquement vertical, et on ne voit rien hein !
CTM1647	TWR	17 24 16	Oui ?
CTM1647	TWR	17 24 19	On a trouvé le... l'épave. C'est le Lima Delta. Il est euh... crashé, et apparemment il n'y a pas de fumée.
TWR	CTM1647	17 24 29	OK. Donc euh...on transmet tout de suite là. Ils arrivent.
CTM	TWR	17 24 32	Donc on reste vertical le crash.
CTM	TWR	17 24 36	Manifestement ça a pas l'air de bouger dessous quoi
TWR	CTM1647	17 24 41	OK. On transmet

STATION EMETTRICE	STATION RECEPTRICE	HEURE UTC (H.M.S)	COMMUNICATIONS
?	?	17 24 42	(Brouillage)... Pochambeau de... de la Crique... (illisible)... de la Comté.
TWR	CTM1647	17 24 50	20 mètres de la Comté, vous confirmez ?
CTM1647	TWR	17 24 54	C'est juste à côté du carbet de l'EDF de la Comté.
		17 25 10	Fin d'écoute.

**BUREAU D'ENQUETES ET D'ANALYSES  
POUR LA SÉCURITÉ DE L'AVIATION  
CIVILE**

Aéroport du Bourget  
93352 Le Bourget Cedex  
FRANCE

Tél. : +33 (0)1 49 92 72 00  
Fax : +33 (0)1 49 92 72 03  
[www.bea-fr.org](http://www.bea-fr.org)

