



# **Rapporto finale dell'Ufficio d'inchiesta sugli infortuni aeronautici**

relativo all'infortunio

dell'elicottero SA 330 J Puma, HB-XVI

del 5 settembre 1997

a Vira Gambarogno, Val Trodo, in zona «Ganna Rossa» / TI

**In seguito ad una procedura di riesame secondo l'art. 22 - 24 dell'Ordinanza relativa alle inchieste sugli infortuni aeronautici, la Commissione federale sugli infortuni aeronautici ha dichiarato che il rapporto d'inchiesta sull'incidente aeronautico del 20 novembre 2003 faceva stato quale rapporto finale. Secondo la decisione della Commissione, il 5° paragrafo sotto cifra 1.12 è stato modificato.**

**Cause**

L'accident est dû à une perte de contrôle de l'hélicoptère en lacet, à basse altitude, lors d'un décollage vertical en forêt, suite à une défaillance de la BTA, dont l'origine n'a pu être déterminée.

Facteurs contributifs:

- Entretien lacunaire de l'hélicoptère.
- Absence d'un indicateur de limaille ou de qualité d'huile (BTA) dans le cockpit

**Il presente rapporto è stato redatto al solo scopo di favorire la prevenzione degli infortuni aeronautici. La valutazione giuridica delle cause e delle circostanze dell'infortunio non è oggetto dell'inchiesta (Art. 24 della Legge aeronautica del 21.12.1948, LFG, SR 748.0).**

## SINOPSI

### Riassunto

Durante un decollo verticale in un bosco, l'elicottero HB-XVI è precipitato in seguito a una perdita di controllo, in spirali consecutive, causate dalla rottura della scatola di trasmissione del rotore di coda.

### Inchiesta

L'incidente è avvenuto ca. alle ore 12:35<sup>1</sup> del 5 settembre 1997. È stato notificato ca. alle ore 13:00 all'ufficio di inchiesta sugli infortuni aeronautici (UIIA). L'inchiesta è stata iniziata la stessa sera sul luogo dell'infortunio e è stata condotta in collaborazione con la polizia cantonale ticinese. L'inquirente di turno sig. Guido Hirni è purtroppo morto in seguito a un infortunio il 13 ottobre 1998. A seguito di questo infortunio molte deposizioni registrate su "dischette" sono state distrutte. A causa di questi eventi una grande parte dell'inchiesta ha dovuto esser ricostruita dagli inquirenti signatari.

## 1. INFORMAZIONI BASILLARI

### 1.1 Svolgimento del volo

Lo svolgimento del volo è stato ricostruito sulla base delle dichiarazioni del pilota e dei testimoni e con le tracce dell'impatto.

Il giorno dell'incidente, il pilota decollò alle ore 07:30 da Lodrino, con a bordo due aiutanti di volo della società Heli-TV e atterrò sul deposito di legname al Monte Ceneri. In questo luogo prese a bordo due operai della ditta C. per portarli al loro posto di lavoro. Il pilota sbarcò le quattro persone e ritornò al Monte Ceneri per aspettare l'inizio dei lavori.

In seguito effettuò tra 60 e 70 voli di trasporto di legname (in carico esterno) e terminò queste rotazioni a mezzogiorno.

Alle 12:40 il pilota partì dal Monte Ceneri con tre persone a bordo per andare a recuperare i quattro operai sul luogo d'imbarco del cantiere.

Ecco come il pilota descrive il seguito degli avvenimenti: (citazione)

*"Sono arrivato sul cantiere e, come ogni volta, ho effettuato un volo stazionario, come si dice nel nostro mestiere, sopra il contenitore, con una ruota appoggiata sul tetto dello stesso. L'elicottero si trovava faccia alla montagna, leggermente di sbieco in rapporto all'asse del contenitore. I quattro operai erano già sul tetto e sono saliti a bordo, passando dalla porta di destra. L'assistente di volo della Heli-TV ha provveduto alla chiusura delle porte.*

---

<sup>1</sup> Le ore menzionate nel rapporto sono ore locali (UTC+2)

*Ho controllato che tutti fossero a bordo e che le porte fossero chiuse e, poi, ho effettuato un decollo in verticale con lo scopo di portare l'elicottero al disopra delle cime degli alberi a ca. 50 metri dal suolo. Avevo l'intenzione di fare una virata partendo verso la destra. Ho schiacciato il pedale destro del comando del rotore di coda. Ho subito realizzato che c'era una vibrazione attraverso i pedali e allo stesso momento ho sentito un rumore anomalo che proveniva dalla coda dell'apparecchio. La macchina ha iniziato immediatamente a girare a sinistra su se stessa in rapporto all'asse verticale. Ho capito subito che i comandi del rotore di coda non reagivano più. Ho dunque ridotto il passo (l'angolo di attacco delle pale del rotore principale) per diminuire la coppia e simultaneamente ho spinto lo "stick" verso la sinistra per "buttare" l'elicottero a valle in modo da poter prendere velocità.*

*Ho realizzato che questa manovra non avrebbe avuto successo. Per effettuare un atterraggio di emergenza fra gli alberi e per diminuire la velocità della rotazione, ho ridotto il passo e alzato la prua dell'elicottero. Come conseguenza, l'elicottero è sceso, ha toccato gli alberi e infine si è schiantato al suolo" (fine della citazione).*

L'incidente è avvenuto verso le 12:35.

Due occupanti sono morti, quattro sono stati gravemente e due leggermente feriti.

L'elicottero è stato distrutto.

Cordinate del luogo dell'infortunio: 711.200/110.000. Altitudine: 1330 m/mare

Carta nazionale della Svizzera: 1:25'000, foglio n° 1333, Tesserete.

## 1.2 Morti e feriti

	Equipaggio	Passeggeri	Terzi
Feriti mortalmente	1	1	---
Feriti gravemente	1	3	---
Feriti leggermente o incolumi	2	---	

## 1.3 Danni all'elicottero

L'elicottero è stato distrutto.

## 1.4 Altri danni

Danni insignificanti alla foresta.

## 1.5 Informazioni sul personale

### 1.5.1 Pilota

Cittadino svizzero, anno di nascita 1955

Titolare di una licenza di pilota di professione per elicotteri, rilasciata dall'Ufficio Federale dell'aviazione civile (UFAC) il 03.03.1997 e valida fino al 05.09.1997.

Il pilota era anche titolare di una licenza di pilota di professione per aeroplani e del permesso speciale per il volo strumentale (IFR).

Estensioni: volo notturno, radiotelefonia internazionale (UIT), atterraggi in montagna, istruttore di volo.

Tipi di elicottero iscritti: Al II, Al III, AS 350 Types, B206/206 L, B 47 Types, SA 315, BK 117, Enstrom 28, EXEC 90, R22, R44, SA 330 Puma PiC.

Esperienza di volo totale (elicottero e aeroplano): 11'785 h.

Esperienza di volo (elicottero):

In totale 10'749 h, 2'347 h. delle quali sul tipo in causa; durante gli ultimi 3 mesi 191 h., 159 delle quali sul tipo in causa.

Inizio della formazione aeronautica: marzo 1978

Ultima visita medica per il rinnovo della licenza: 11.02.1997; risultato: atto al volo senza restrizioni.

#### 1.5.2 Aiutanti di volo

+ Cittadino svizzero, anno di nascita 1969

Cittadino italiano, anno di nascita 1962

#### 1.5.3 Passeggeri

+ Cittadino portoghese, anno di nascita 1956

Cittadino italiano, anno di nascita 1955

Cittadino portoghese, anno di nascita 1973

Cittadino svizzero, anno di nascita 1977

Cittadino svizzero, anno di nascita 1974

### 1.6 Elicottero HB-XVI

Tipo:	SA 330 J Puma	
Costruttore:	Aérospatiale SA / Eurocopter	
Caratteristiche:	Bi-turbina	
Anno di costruzione:	1980	
Numero di serie:	1608	
Motori (turbine):	Costruttore:	Turboméca
	Tipo:	Turmo IV C
	Potenza:	955 kW
	Numeri di serie:	1867 e 1339

Certificato di immatricolazione: rilasciato dall'UFAC il 19.10.1995 e valido fino a nuovo ordine.

Certificato di navigabilità: rilasciato dall'UFAC il 19.10.1995

Modo d'impiego: Esercizio commerciale in VFR, di giorno e di notte.

Proprietario e esercente: Heli-TV, 6500 Bellinzona

Scatola di trasmissione posteriore (BTA):

S/N M 935, tipo 330A, revisione generale effettuata il 30.5.1989 presso il costruttore. Installata sull'elicottero HB-XVI il 15.3.1991, 5776:39 ore. Esecuzione dei SB 01-52 & 05.81 R1, 7.2.1996.

La costruzione chiusa della BTA non permette nessun intervento di manutenzione salvo il controllo del tappo magnetico e del livello dell'olio. Il rimpiazzo della spia dell'olio è autorizzato.

Pale del rotore di coda:

Secondo la lista di configurazione, 3 pale sono state installate il 15.3.1991. Una pala è stata installata l'11.2.1997, un'altra l'8.8.1997.

Ore di funzionamento: 8041:57 (secondo le iscrizioni nel libro di rotta al momento dell'incidente fino al 04.09.97)

Ore di volo il giorno dell'incidente, registrate dal pilota:

4 h. 08

Totale: 8046:05

L'ultimo esame tecnico dell'UFAC è stato effettuato il 23.7.1996.

L'ultimo controllo delle 100 ore è stato effettuato il 14.8.1997 con un totale di 7995:35 h. di servizio.

L'ultimo controllo delle 25 ore è stato effettuato il 21.8.1997 con un totale di 8020:13 h. di servizio.

Il controllo giornaliero è stato effettuato il giorno prima dell'incidente, quando l'elicottero era rientrato alla base.

I punti che devono essere verificati durante i controlli si trovano sotto la cifra 1.17.

BTA (boîte de transmission arrière, *scatola di trasmissione posteriore*): revisione generale del 15.3.91. Ore di funzionamento al momento dell'incidente: 2'266 h. TBO (time between overhaul, *periodo fra revisioni*): 3'000 h.

Secondo le dichiarazioni del pilota le ore di volo, i cicli e le rotazioni dell'HB-XVI venivano registrate nel modo seguente: ore cronometrate, rotazioni secondo il contatore manuale e i cicli rappresentavano solo l'avvia-mento dei motori.

Massa e centro di gravità:

La massa massima al decollo è di 7'400 kp; la massa al momento dell'incidente si situava all'incirca attorno ai 5'050 kp.

Al momento dell'incidente la massa e il centro di gravità si trovavano entro i limiti prescritti.

Autonomia:

ca. 30 minuti. Serbatoio sinistro: 400-450 lbs; serbatoio destro 300-350 lbs.

## 1.7 Condizioni meteorologiche

Secondo il rapporto di polizia:

<i>Tempo</i>	<i>sereno</i>
<i>Temperatura</i>	<i>Magadino 24°C (200 m/m), Cimetta 16°C (1670 m/m)</i>
<i>Vento</i>	<i>Magadino 14 km/h, Cimetta 15 km/h</i>
<i>Direzione del vento</i>	<i>Magadino oves, Cimetta est</i>

## 1.8 Aiuti alla navigazione

Non coinvolti.

## 1.9 Telecomunicazioni

Le comunicazioni radiofoniche fra l'equipaggio a bordo dell'elicottero e la squadra al suolo furono normali.

## 1.10 Informazioni concernenti l'aerodromo

Non coinvolte.

## 1.11 Registratore dei dati di volo

Non prescritto e non installato.

## 1.12 Informazioni sull'elicottero e l'impatto

I rottami dell'elicottero si trovavano a ca. 80 metri dal punto del decollo, sul pendio, fra i pini. La cellula principale era adagiata sulla parte sinistra. Un tronco d'albero era penetrato nel cockpit dalla parte del copilota e un altro tronco d'albero aveva sfondato la cabina. Il sistema del rotore anti coppia si trovava a ca. 30 metri sopra la cellula.

Il rotore anti coppia era gravemente danneggiato. Le pale erano distorte, ma non mostravano segni di impatti importanti conseguenti alla rotazione in regime di volo.

Il primo esame della BTA ha permesso di constatare che il collegamento tramite l'albero di trasmissione verso il rotore era stato interrotto.

Constatazioni dopo lo smontaggio in officina della BTA:

Un deposito notevole di melma nerastra, mescolata con il lubrificante della BTA.

Il tappo magnetico presenta un deposito notevole di melma nerastra.

La spia di controllo del livello dell'olio della BTA era di colore nerastro (vedi allegato). Il colore dell'olio è normalmente giallo-miele, il vetro della spia chiaro con un fondo bianco.

Il vetro della spia del livello dell'olio della scatola trasmissione di coda (BTA) era di colore nerastro (vedi allegato). Il colore dell'olio era pure nerastro, vale a dire molto più scuro che abitualmente, ciò che non era normale.

Allo stato da nuovo, l'olio è di color giallo-miele; durante il servizio l'olio diventa brunastro, mentre la spia si oscura solo leggermente.

Le scanalature del collegamento fra l'albero del rotore e la ruota conica sono distrutte. La rottura totale di queste scanalature è l'origine della distruzione finale della BTA, che ha portato alla perdita della trasmissione di potenza al rotore anti coppia.

Constatazioni fatte sul rotore di coda:

Tre delle cinque pale erano munite di masse d'equilibraggio. Il manuale di manutenzione tollera al massimo che due pale ne siano munite. (vedi allegato)

Cockpit:

La catena amortizzatrice dei movimenti di imbardata (YAW DAMPER) dell'autopilota era disinserita. Il pilota dichiara nella sua deposizione che non adoperava questo sistema durante il lavoro aereo, con lo scopo di poter azionare senza resistenza i comandi del rotore anti coppia.

### **1.13 Informazioni mediche**

Il pilota è stato sottoposto ad una prova di alcolismo. Il risultato è negativo.

### **1.14 Incendio**

Non ci fu incendio.

### **1.15 Quesiti concernenti la sopravvivenza degli occupanti**

Grazie al fatto che la deformazione della cabina fu limitata, alcuni occupanti hanno potuto sopravvivere l'incidente, dopo la caduta e l'impatto. Una persona, eiettata dopo l'impatto, è stata uccisa dal rotore principale e l'altra persona, seduta accanto al pilota è rimasta indenne perché era caduta dal suo seggiolino prima che un tronco d'albero fosse penetrato in questa parte della cabina di pilotaggio (cockpit). Eccettuato il pilota, gli occupanti non si erano allacciati con le cinture di sicurezza. (citato).

### **1.16 Prove e ricerche particolari**

#### **Fattori tecnici**

Le componenti della scatola di trasmissione posteriore (BTA – boîte de transmission arrière) sono state spedite al laboratorio federale di prova e ricerca sui materiali a Dübendorf (EMPA). (citazione)



*“Riassunto (Zusammenfassung)”*

*Das Versagen des Heckrotorgetriebes ist auf die Lockerung der Verschraubung des 90°-Winkelgetriebe-Tellerrades und die zwangsläufig verbundene sukzessive Zerstörung der Keilverzahnung der Tellerradbefestigung zurückzuführen.*

*Die Lockerung der Verschraubung wurde durch Materialabtragungen an den Stirnflächen des Tellerrades wesentlich beeinflusst. Durch den Materialverlust sank die axiale Vorspannung langsam gegen Null, sodass am Schluss sogar ein deutliches Spiel entstanden ist (verbunden mit der Taumelbewegung des scheibenförmigen Tellerrades.*

*Entsprechend dem hohen Drehmomentniveau und den betrieblichen Vibrationen (Pulsation) des übertragenen Drehmoments und damit verbundene starke periodisch wechselnde Zu- und Abnahme der Flankenpressung in der Keilverzahnung der Heckrotorantriebswelle ist eine fortschreitende Abtragung der Zahnflanken der Keilverzahnung entstanden. Im Moment des Unfalles war nur noch ca. 5% der ursprünglichen Zahndicke tragfähig, dieses Reststück vermochte nunmehr den hohen abflugbedingten Drehmomentanstieg im Getriebe nicht mehr zu übertragen und wurde abgeschert. Somit wurde die Rotationskraftübertragung der Antriebswelle des Heckrotors völlig unterbrochen.*

*Beurteilung der Tellerradverschraubung*

*Die axiale Fixierung des Tellerrades erfolgt im 90°-Winkelgetriebe mit einer sehr schmalen Nutmutter, deren Vorspannungsverlust im vorliegenden Schadenfall eine zentrale Rolle gespielt hat.*

*Die mitverspannten Elemente der Tellerradverschraubung weisen durchwegs äusserst schmale ringförmige Flügelflächen auf, die bei unzulässig hohen Vibrationen bzw. bei den zwangsläufig ablaufenden Setzerscheinungen (an diesen kleinen mitverspannten Flächen mit hohen spezifischen Flächenpressung) ungewöhnlich rasch das Entstehen eines unzulässigen Vorspannkraftverlustes begünstigen können.*

*Die unerwünschten Mikrogleitungen an den schmalen Flügelflächen führen zu weiteren Glättungen und somit zu markant erhöhten Setzerscheinungen, die dann insgesamt einen globalen Vorspannkraftverlust bewirken.*

*Sobald eine erste Lockerung eingetreten ist, sind die Auswirkungen auf die Zentrierung des Tellerrades äusserst negativ, durch die kleinen Gleitbewegungen an den Flügelflächen (im vorliegenden Fall als satter Schiebesitz ausgebildet) entsteht allmählich eine so hochgradige Materialabtragung, dass die sonst feste Keilverzahnung Spiel bekommt. Dadurch wird die Zerstörung der Verzahnung eingeleitet.“ (fine della citazione)*

Le stesse componenti sono state spedite alla DIRECTION DES CENTRES D'EXPERTISE ET D'ESSAIS (DGA) a Orsay

*Sintesi e commenti sulla perizia: (citazione)*

*I lavori per la perizia effettuati presso il CEPr sono stati fatti principalmente sulle componenti fornite dell'insieme dell'albero del rotore di coda per tentare di spiegare l'origine della distruzione della dentatura conica sull'albero.*

*I principali fattori e risultati hanno permesso di effettuare le constatazioni seguenti:*

*Le scanalature si sono degradate simultaneamente e progressivamente sui due pezzi a causa di usura e sotto l'influsso dei carichi successivi su più di tre quarti della loro sezione sotto sforzo.*

- 1) L'usura conseguente delle superfici di contatto dei due pezzi, da una parte e dall'altra delle scanalature, è il risultato di un fenomeno di "fretting-corrosion". Un tale fenomeno sta a dimostrare che l'andamento del guasto si è svolto su un periodo di tempo importante.*
- 2) Le tracce di usura asimmetrica di contatto fra i due pezzi dimostrano che la ruota dentata (ingranaggio) aveva uno scarto di perpendicolarità rispetto all'asse dell'albero, durante tutto il periodo del processo di danneggiamento.*
- 3) Il bullone e il suo bloccaggio sono rimasti solidali l'uno con l'altro. Non portano tracce evidenti che potrebbero dimostrare il loro svitamento.*
- 4) Il controllo dimensionale dei pezzi non ha portato a nessuno scarto nelle zone al di fuori di quelle danneggiate.*
- 5) I risultati dei controlli metallurgici degli acciai concernenti l'albero del rotore e dell'ingranaggio soddisfano le specifiche del costruttore.*
- 6) L'analisi dei depositi di grasso presenti sui pezzi indicano l'uso di un olio minerale, che potrebbe corrispondere a un olio per pressioni estreme del tipo O-155 come preconizzato dal costruttore.*
- 7) L'assenza di danneggiamenti significanti sull'insieme dei cuscinetti controllati scarta ogni implicazione del lubrificante nell'origine dell'avaria.*

*Evidentemente, il danneggiamento progressivo del collegamento tramite scanalature e l'usura sulle superfici di contatto dei pezzi hanno potuto prodursi solo dopo il sorgere di un gioco fra l'assemblaggio delle componenti che normalmente sono strette sull'insieme dell'albero del rotore.*

*Uno svitamento del bullone che garantisce la coesione dell'insieme potrebbe essere all'origine del fenomeno e spiegare la totalità dei danneggiamenti constatati, tramite l'apparizione di un gioco che favorirebbe lo sbattimento delle scanalature e le usure progressive identificate. L'esame del bloccaggio del bullone non ha però confermato una tale eventualità.*

*A questo stadio delle osservazioni, non è facile emettere altre ipotesi, tenendo conto del fatto degli elementi di inchiesta che non sono stati comunicati. In particolare mancano: la storia della BTA, le constatazioni fatte al momento dello smontaggio, lo stato delle altre componenti dell'insieme, che non sono state fornite al CEPr.*

*L'usura progressiva delle scanalature e delle superfici di contatto ha prodotto approssimativamente 5,5 cm<sup>3</sup> di particole di acciaio. Supponendo pure che questa usura si sia sviluppata molto rapidamente durante gli ultimi voli, l'esame del tappo magnetico e la colorazione stessa dell'olio della BTA avrebbero dovuto prevenire l'inizio e lo sviluppo di un tale degrado.*

*Questo tipo di danneggiamento avrà anche favorito l'apparizione di un gioco angolare importante sulle pale del rotore di coda. In effetti, il rapporto 30 dimostra che un'usura di 1 mm. sui fianchi delle scanalature in "vis-à-vis" porta a uno spostamento libero di 60 mm. dei blocchi metallici delle pale. (fine della citazione)*

### **Esperienza fatta durante l'esercizio degli elicotteri Puma e Super Puma:**

Fino a oggi non è stato registrato un caso simile di un guasto al rotore di coda che presentasse un tale danneggiamento e che avesse portato a un infortunio o incidente.

Secondo il costruttore, le esperienze relative agli elicotteri del tipo Puma e Super Puma si basano su più di 5 milioni di ore di volo.

### **Fattori operativi**

Al fine di verificare le possibilità operative in caso di guasto al rotore di coda durante un volo stazionario all'altezza di ca. 50 m. sopra il suolo, è stato effettuato, il 7 maggio 2001, un programma sperimentale di volo in un simulatore del Super Puma delle forze aeree Svizzere.

Parametri del simulatore:

Rapporto di massa 70%, adattato ai valori e potenze reali.

Densità atmosferica et vento pari ai valori al momento dell'incidente: temp. 18°C, vento var/15 km/h.

Stato del terreno come sul luogo dell'incidente: 1300 m/m, bosco rado, ca. 80% di pendenza.

Dati alla partenza: decollo verticale con una rotazione a destra e a sinistra, le turbine a regime nominale.

Il programma è stato eseguito alternativamente con un equipaggio con un solo pilota e un altro equipaggio con due piloti. L'equipaggio del simulatore era composto da due inquirenti e piloti di elicottero dell'UIIA (Ufficio d'Inchiesta sugli Infortuni Aeronautici), uno dei quali titolare di un certificato di tipo militare di PiC (Pilot in Command – Comandante) per il Super Puma.

Il manuale di volo dell'elicottero prevede la procedura seguente in caso di guasto al rotore di coda:

- Iniziare immediatamente un'autorotazione
- Tentare di far atterrare l'elicottero in autorotazione totale, con le due turbine spente, lasciar rullare l'apparecchio alla più gran velocità possibile dalla configurazione del terreno e controllarne la direzione con i freni.

La quota in volo stazionario di ca. 50 m/suolo si trova, secondo il diagramma altezza/velocità, nella cosiddetta "dead man curve" (diagramma dell'uomo morto). Un'autorotazione con un atterraggio controllato non è dunque prevista dal costruttore in questo caso.

## Risultati

Le prove nel simulatore hanno confermato che, durante questi esercizi in pianura, non è mai stato possibile raggiungere una velocità di transizione tale da poter effettuare un atterraggio controllato partendo dalla quota di 50 m sopra il suolo, con il rotore di coda fermo.

Se il guasto dovesse succedere sopra un terreno inclinato di ca. l'80%, un atterraggio controllato in autorotazione, nella valle, è potuto essere stato effettuato regolarmente nel simulatore a condizione che il o i piloti reagiscano immediatamente conformemente alla procedura d'emergenza e dopo aver iniziato immediatamente una virata a sinistra e aver potuto riprendere velocità lungo il pendio.

Questo esercizio è riuscito con un tempo di reazione da 1 a 2 secondi, dopo aver spento immediatamente i due reattori. Bisogna pur dire che un equipaggio di due piloti ha potuto effettuare le manovre necessarie più rapidamente, migliorando così le probabilità di riuscire l'autorotazione.

### 1.17 Informazioni sugli organismi e la gestione

Si trattava di un volo commerciale effettuato su richiesta. La ditta Heli-TV era in possesso delle autorizzazioni necessarie e effettuava pure i lavori di manutenzione dell'elicottero, in conformità delle prescrizioni del costruttore.

Heli-TV impiegava un solo elicottero di questo tipo in Svizzera.

I lavori di manutenzione comprendevano i controlli giornalieri, i controlli periodici (effettuati in funzione delle ore di volo e secondo scadenze calendariali) e il rimpiazzo di componenti.

Lavori di manutenzione della BTA (scatola di trasmissione posteriore) definiti dal costruttore

Controllo giornaliero

Verificare

- il livello dell'olio
- controllo sensitivo del gioco delle biellette di passo come pure del disco di comando
- stato del rivestimento delle pale posteriori

Controllo delle 25 ore:

Verifica

- del tappo magnetico

Controllo delle 50 ore:

Verifica

- dei punti duri delle batterie di incidenza
- delle cinghie delle fodere dei manicotti

Controllo delle 100 ore:

Verifica

- del gioco delle biellette di passo

Per la manutenzione corrente la Heli-TV aveva firmato un contratto con una persona titolare delle licenze necessarie per questo tipo di elicottero.

Dal 01.01.1997 questa persona lavorava solo a tempo parziale come meccanico responsabile dell'elicottero Puma.

È questa persona che, a parte i controlli giornalieri, ha vistato i punti da verificare. Per quel che concerne il controllo giornaliero è stato effettuato la sera prima da un aiuto-meccanico senza licenza.

Il rimpiazzo di componenti come pure i controlli giornalieri erano in parte effettuati da personale che non possedeva una licenza per il tipo Puma. Secondo le loro dichiarazioni, queste persone erano state istruite per il loro compito.

Il manuale di volo obbligatorio dell'elicottero prescrive due piloti per la navigazione in IFR (volo strumentale), ma un solo pilota per il volo VFR (volo a vista, come al momento dell'incidente).

### 1.18 Informazioni supplementari

Dopo il cambiamento delle pale del rotore di coda l'8.8.97 con 7977h15, nessun equilibraggio è stato effettuato prima del primo volo. Secondo le dichiarazioni del personale di manutenzione e del pilota, l'equilibraggio è solamente stato effettuato dopo un giorno operativo.

Nella sua deposizione del 27.05.02 il pilota dichiara, che non aveva constatato delle vibrazioni anomali durante quel giorno.

Invece, nella sua stessa dichiarazione il pilota descrive che, durante un lasso di tempo appena dopo la revisione dell'elicottero e il montaggio della BTA S/N M 935 (il 15.3.91), si erano manifestate delle vibrazioni anormalmente forti sui pedali di direzione e che aveva reclamato a più riprese presso il responsabile della manutenzione. Durante questo periodo il pilota adoperava un elicottero dello stesso tipo, immatricolato in Italia, potendo così fare delle comparazioni.

I suoi reclami non provocarono nessuna reazione da parte del responsabile che pretendeva che tutto fosse normale.

Su richiesta, il pilota non si ricorda più della durata di questo fenomeno ma indica, che in assenza di comparazioni possibili, si era eventualmente abituato a questa anomalia.

I lavori di equilibraggio non sono menzionati nei documenti ufficiali. Il costruttore prescrive l'equilibraggio del rotore posteriore dopo ogni rimpiazzo di una pala (documento Eurocopter Appendix test sheets 33J, AS21, 11-96).

Nello scopo di valutare i lavori di manutenzione durante un controllo giornaliero è stato interrogato un meccanico che effettua regolarmente questi controlli sui Super Puma delle Forze Aeree Svizzere.

Nella sua deposizione descrive che una leggera scolorazione dell'olio e della spia della BTA poteva succedere e era normale, a causa dell'usura della guarnizione del tappo magnetico. Mentre se si accorgesse che la spia e l'olio della BTA si fossero scolorati fortemente segnalerebbe subito questo fenomeno al suo superiore.

Stima che durante il controllo sensitivo del gioco delle biellette di passo come pure del piatto di comando, le forze applicate al rotore posteriore non sono sufficienti per scoprire un eccessivo gioco radiale nella BTA.

## **2. ANALISI**

### **2.1 Aspetti operativi**

Il posto dove il pilota doveva imbarcare gli operai forestali era un contenitore piazzato in una parcella di foresta molto ripida che non permetteva un atterraggio. L'unico modo di risolvere questa missione era quello di appoggiare una ruota dell'elicottero sul contenitore per poter imbarcare i passeggeri.

L'elicottero era dunque costretto di decollare alla verticale effettuando una virata in direzione della vallata.

Al momento della rottura della trasmissione di potenza verso il rotore di coda, l'elicottero si trovava a ca. 20 m. sopra la cima degli alberi. Secondo il manuale di volo, questa altezza, che si trova nella "dead man's curve" è chiaramente troppo bassa per effettuare un atterraggio con l'elicottero in autorotazione.

Il decollo nel settore della "dead man's curve" è inevitabile in questo tipo di interventi.

Anche se durante le prove nel simulatore è stato possibile riprendere velocità grazie alla pendenza, bisogna ricordare che sussistevano delle differenze nella configurazione del terreno e la quota al di sopra delle piante. Esistono pure differenze fra la reazione del simulatore in rapporto ai movimenti e alle forze esistenti in realtà. In più, il periodo di reazione in un simulatore è ridotto, rispetto a quello di un guasto reale, perché l'equipaggio si aspetta già un problema definito, ciò che non è il caso durante un'operazione normale.

Durante l'evoluzione dell'incidente, il pilota non aveva nessuna possibilità di aumentare la velocità dell'elicottero e di farlo atterrare in autorotazione, perché era troppo vicino agli alberi quando il problema è sorto.

Il tentativo del pilota di dirigere l'elicottero verso la valle è stata una buona reazione. Siccome questo tentativo è fallito, non gli restava più che tentare di modificare in modo favorevole l'angolo e l'energia dell'impatto.

Funzione di equipaggio multiplo (multi-crew function):

I voli ricostitutivi effettuati nel simulatore hanno chiaramente dimostrato che un equipaggio di due piloti familiarizzati con le procedure d'emergenza in funzione di equipaggio multiplo è in misura d'eseguire più rapidamente e in modo più efficace le procedure che esigono una reazione immediata e delle manovre complicate.

È impossibile stabilire se, in questo caso, un equipaggio con l'istruzione necessaria avrebbe potuto evitare l'incidente. Bisogna precisare che durante l'esercizio nel simulatore i piloti erano stati avvertiti e erano pronti ad affrontare il guasto in questione.

Disinserimento dello *yaw-damper* (*stabilizzatore di imbardata*):

Il pilota ha dichiarato di non aver inserito lo yaw-damper durante i trasporti del carico esterno perché voleva evitare i contraccolpi automatici nel cilindro idraulico. Questa decisione non è rilevante per l'andamento dell'incidente.

## 2.2 Considerazioni tecniche

Le differenti indagini eseguite sia dall'EMPA (Svizzera) che dal CEPr (Francia) hanno evidenziato i due punti seguenti:

- distruzione delle scanalature dovute a un effetto di "fretting corrosion"
- il fattore che ha fatto scattare (causa di origine e datazione) l'origine della possibilità di inizio di un fenomeno d'usura dovuto alla "fretting corrosion", non ha potuto essere evidenziato.

Prima di analizzare le 6 ipotesi che avrebbero potuto modificare lo sforzo assiale del montaggio e così iniziare il fenomeno del fretting, bisogna definire questo fenomeno, chiamato "fretting corrosion".

Il fenomeno di "fretting corrosion" è uno sviluppo di usura conseguente a dei micro spostamenti di pezzi che sono in contatto e sottoposti a una certa pressione associata a degli spostamenti dell'ordine di 1/100° di mm. La velocità dell'usura dipende dalla pressione, dal materiale, dalla frequenza dei cicli di sfregamento, dal coefficiente di sfregamento. Gli studi fatti dimostrano che i cicli vengono espressi in decine di millimetri, oppure in centinaia di millimetri.

Gli sforzi di sfregamento nella sotto struttura generano delle micro fessure che sono all'origine del distacco di micro particelle che, con il tempo, si ripartiscono su tutta la superficie. Un'usura con propagazione molto lenta appare in funzione della facilità con la quale i rimasugli vengono espulsi. Effettivamente i rimasugli formano quello che si definisce "il 3° corpo", la particolarità del quale è di isolare momentaneamente le superfici in contatto e conseguentemente di frenare la velocità di usura.

La perdita di coppia al rotore di coda che ha provocato l'incidente è dovuta alla rottura del collegamento fra l'ingranaggio conico e l'albero di trasmissione. Questa rottura è conseguente all'eliminazione progressiva e completa, a causa dell'usura, delle scanalature che assicuravano il contatto fra i due pezzi.

La perdita della forza assiale delle componenti montate sull'albero del rotore sembrano essere all'origine di questo guasto. Le ipotesi sono le seguenti:

- 1) Vibrazioni anomale durante l'esercizio dell'elicottero con il rotore di coda non bilanciato.

È stato constatato che l'elicottero è stato in servizio durante un giorno intero con un rotore di coda non bilanciato. L'esistenza e l'ampiezza delle vibrazioni durante questo periodo non hanno potuto essere stabiliti con certezza. Ma, nella sua dichiarazione del 27.05.2002 il pilota dichiara che aveva sentito delle vibrazioni anomale nel comando direzionale dopo la revisione dell' HB-XVI e il montaggio della BTA in questione sull'elicottero. Queste vibrazioni si sono manifestate durante un periodo di servizio sconosciuto, ma probabilmente esteso.

Ogni vibrazione genera energia e accelera le masse. Per arrivare al fretting, bisogna che l'accelerazione associata all'inerzia dei pezzi e alla loro condizione di installazione possano provocare un movimento relativo dei pezzi. Le vibrazioni dovute alle frequenze normali non sono in grado di iniziare questo fenomeno di usura dovuto al fretting.

Fino ad oggi il costruttore non ha mai constatato dei difetti del genere generati da vibrazioni, nel quadro di un funzionamento normale correlato a un bilanciamento come da prescrizioni.

Ma, delle "forti" vibrazioni che fuoriescono dalla normalità, come le descrive il pilota, possono iniziare la perdita di solidità assiale e di conseguenza accelerare il fenomeno di "fretting corrosion".

Questa ipotesi vien considerata come possibile.

- 2) Impiego dell'elicottero fuori dai parametri di impiego normale

Il dimensionamento dei materiali è per definizione relativo a dei parametri di volo definiti.

Nel caso di sorpasso dei parametri, il comportamento dei pezzi di trasmissione è imprevedibile.

Durante il trasporto di tronchi d'albero in carico esterno (con cavi) è abbastanza difficile giudicare o misurare il peso esatto del carico. Specialmente se il volo vien effettuato con un solo pilota, la sorveglianza costante di tutti i parametri può rivelarsi difficile.

Un sovraccarico inavvertito e involontario non può dunque essere escluso completamente. Ciò nondimeno, il sovraccarico deve essere importante, sia in valore assoluto o in valore ripetitivo per iniziare il fenomeno.



Questa ipotesi è considerata come poco probabile, perché non ha potuto essere dimostrata con dei fatti.

3) Blocco o frenaggio incorretto del bullone durante il montaggio dopo revisione

In merito il costruttore comunica la spiegazione seguente (citazione):

*“L’organizzazione del lavoro in officina secondo le procedure prescritte dalla nostra direzione di garanzia di qualità, ci ha portato a considerare come vitale l’operazione di serraggio e frenaggio di questo bullone. In seguito è stata istituita una fase detta “di interruzione del lavoro” che obbliga l’addetto al montaggio di chiamare il controllore durante il momento di serraggio di questo bullone con una chiave dinamometrica precedentemente calibrata. Il controllore assiste all’operazione, guarda lo spostamento dell’ago e osserva la sistemazione del blocco. Dopo applica il suo timbro sul protocollo di montaggio”. (fine della citazione)*

Le perizie effettuate in laboratorio non hanno rivelato difetti sul bloccaggio del bullone.

Per le ragioni menzionate, l’ipotesi è poco probabile.

4) Colpo radiale o assiale sull’insieme della BTA

Non si è potuto stabilire nessun fatto in merito.

L’ipotesi è improbabile.

5) Uso dell’elicottero senza il “yaw damper”

La sola differenza fra l’azione del sistema “yaw damper” e le reazioni del pilota consiste solo nella rapidità dell’esecuzione. Lo sforzo generato sulla BTA non sembra essere abbastanza grande per aver giocato un ruolo determinante.

L’ipotesi è improbabile.

6) Combinazione di un numero dei fattori precedenti

Il processo di danneggiamento deve essersi protratto durante un periodo di tempo segnato da molte rotazioni dell’elicottero con dei carichi esterni. Durante le 23 ore di volo consecutive all’ultimo controllo delle 25 ore, quando l’ispezione del tappo del carter della BTA è richiesto, l’elicottero ha effettuato ca. 400 rotazioni.

È dunque possibile, ma poco probabile, che il processo della distruzione delle scanalature sia cominciato durante questo periodo.

Il solo modo di prevenire e identificare un guasto in volo è quello di installare un sistema di identificazione di limatura o un futuro sistema di identificazione della qualità dell’olio nella BTA con un’indicazione nel posto di pilotaggio (cockpit).

L’analisi di tutte le ipotesi non permette di determinare la causa originale dello scenario che ha provocato l’incidente.

L'esperienza del costruttore dei Puma e Super Puma di più di 5 milioni di ore di volo senza infortuni o incidenti di questo genere porta alla conclusione che il caso in questione può essere considerato come un avvenimento isolato.

## **Manutenzione**

Lavori di manutenzione della BTA, prescritti dal costruttore:

*Controllo giornaliero:*

Verifiche:

- del livello dell'olio
- controllo sensitivo del gioco del passo come pure del piatto di comando
- stato del rivestimento delle pale AR (pale del rotore di coda)

Questo controllo avrebbe permesso di giudicare il colore dell'olio che diventa rosso-nero in presenza di "fretting corrosion". I controlli sensitivi obbligano a far girare il rotore. Le forze applicate durante questo lavoro avrebbero eventualmente permesso di scoprire dei "giochi morti" delle pale, importanti per segnalare un gioco interno.

Controllo delle 25 ore

Verifiche:

- del tappo magnetico

Questo controllo avrebbe senza dubbio permesso di evidenziare la presenza di melma magnetica.

Questo programma di manutenzione avrebbe permesso a più riprese di identificare un'anomalia interna.

La lenta distruzione (che si è protratta su più giorni/ore di volo) delle componenti della BTA avrebbe potuto essere identificata durante i controlli giornalieri o periodici e così, avrebbe potuto essere evitata.

Durante il controllo giornaliero, la forte scolorazione dell'olio della BTA avrebbe dovuto essere identificata.

In più, il fatto che la spia fosse annerita avrebbe dovuto far scattare un'azione di controlli supplementari sullo stato della BTA. Un'analisi dell'olio avrebbe senz'altro evidenziato un'anomalia interna.

I punti deboli menzionati, concernenti la manutenzione dell'elicottero, fanno riscontrare alcune lacune concernenti il personale che possono parzialmente essere spiegate con dei problemi di comprensione dovuti alla lingua (liste di controllo in francese) e/o alla selezione durante il reclutamento e l'istruzione.

L'assenza del meccanico esperto e detentore della licenza per il tipo Puma durante i controlli giornalieri, ha compromesso la qualità dei lavori di manutenzione.

### Programma di manutenzione

Il costruttore non differenzia l'impiego dell'elicottero fra trasporto di passeggeri (normale) o il lavoro con carichi esterni che, come in questo caso, producono un numero di rotazioni importante (cicli di carico). Sarebbe dunque raccomandabile che il costruttore preveda un programma di manutenzione che si adatti all'impiego specifico dell'apparecchio.

## 3. CONCLUSIONI

### 3.1 Costatazioni

- Il pilota era titolare di una licenza di pilota professionale valida.
- Nessun indizio lascia presupporre che il pilota dell'elicottero HB-XVI fosse soggetto a disturbi fisici durante il volo, oggetto di questo rapporto.
- L'elicottero HB-XVI era certificato per l'esercizio VFR commerciale di giorno e di notte.
- Il pilota aveva constatato delle vibrazioni "anormalmente forti" sui pedali di direzione durante un periodo di tempo prolungato dopo che l'elicottero era stato rimesso in servizio dopo revisione e installazione della BTA in questione.
- Al momento dell'incidente la massa e il centraggio erano entro i limiti prescritti.
- L'elicottero ha volato per ca. 23 ore di volo con 400 rotazioni dopo l'ultimo controllo, durante il quale il tappo magnetico della BTA era stato controllato.
- La perdita del collegamento fra l'albero di trasmissione della BTA e il rotore anti coppia è dovuta all'eliminazione per usura progressiva e totale delle scanalature fra l'albero del rotore e la ruota dentata conica. Questa usura è stata possibile solo dopo la perdita di solidità dell'accoppiamento dei pezzi.
- L'elicottero ha volato precedentemente per ca. 5h50 con un rotore posteriore non bilanciato. Il bilanciamento è stato effettuato dopo.
- Ad ogni rimpiazzo della BTA e la sostituzione di una o delle pale posteriori, il bilanciamento è imperativo.
- Il bilanciamento del rotore di coda non corrispondeva alle prescrizioni di manutenzione del costruttore.
- La spia del livello dell'olio della BTA era completamente annerita.
- Il guasto totale della BTA è successo a ca. 50 m/suolo (ca. 20 m. sopra gli alberi), fuori dal diagramma di sicurezza dell'elicottero.
- Questo genere di guasto della BTA può essere considerato come un avvenimento isolato che ha provocato l'incidente.

### 3.2 Causa

L'infortunio è dovuto alla perdita di controllo dell'elicottero in curva a bassa quota, durante un decollo verticale in un bosco, a causa di un guasto alla BTA, l'origine del quale non ha potuto essere stabilito.

Cause accessorie:

- manutenzione difettosa dell'elicottero
- mancanza di un indicatore di limatura o della qualità dell'olio (BTA) nel posto di pilotaggio (cockpit).

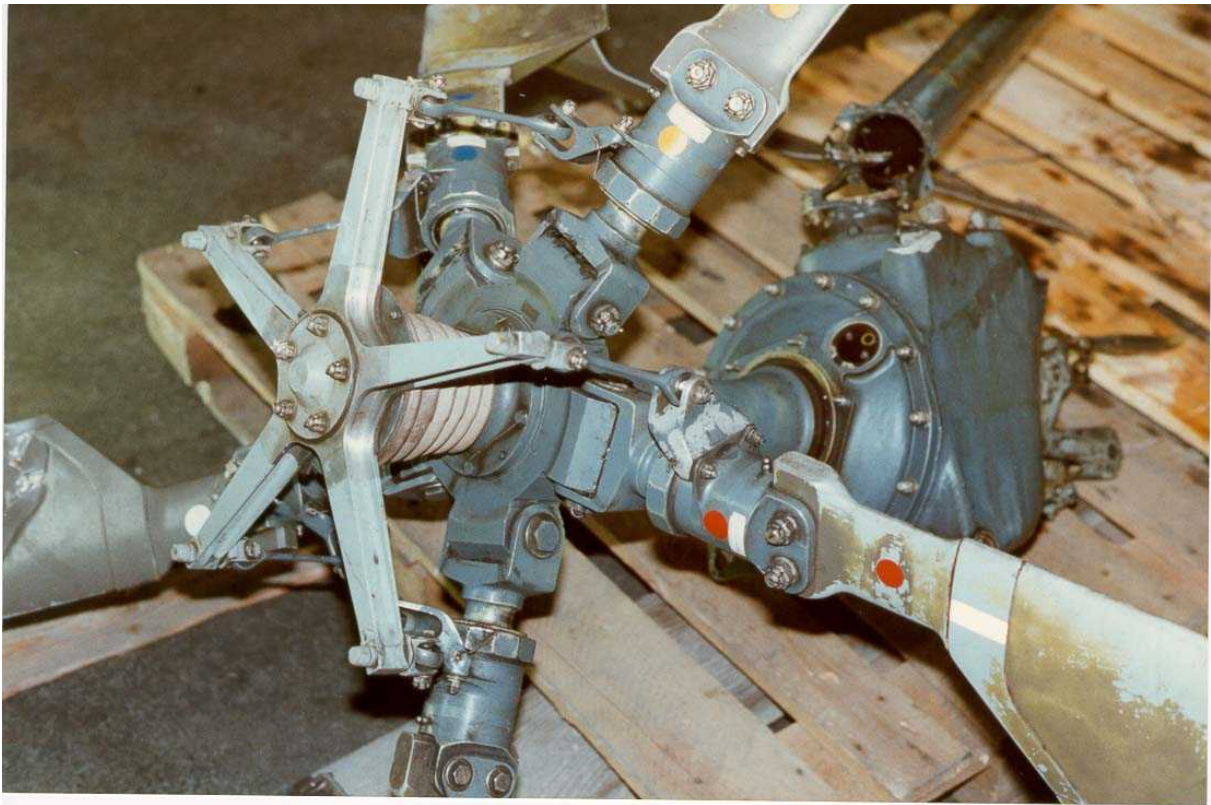
## 4. RACCOMANDAZIONI PER LA SICUREZZA

- No. 291: Un sistema di detezione della limatura o della qualità dell'olio (BTA) con un sistema di avvertimento nel cockpit dovrebbe essere installato su tutti gli elicotteri della serie del tipo Puma SA 330 e seguenti.
- No. 292: Si dovrebbe verificare se per questo tipo di impiego non sia raccomandabile un equipaggio di due piloti.
- No. 293: Nel caso di un impiego speciale di un tipo di elicottero, sarebbe raccomandabile che il costruttore preveda un programma di manutenzione adattato al genere di impiego.
- No. 294: Per tutti gli impieghi commerciali di un elicottero si dovrebbe prescrivere un registratore dei parametri di volo.

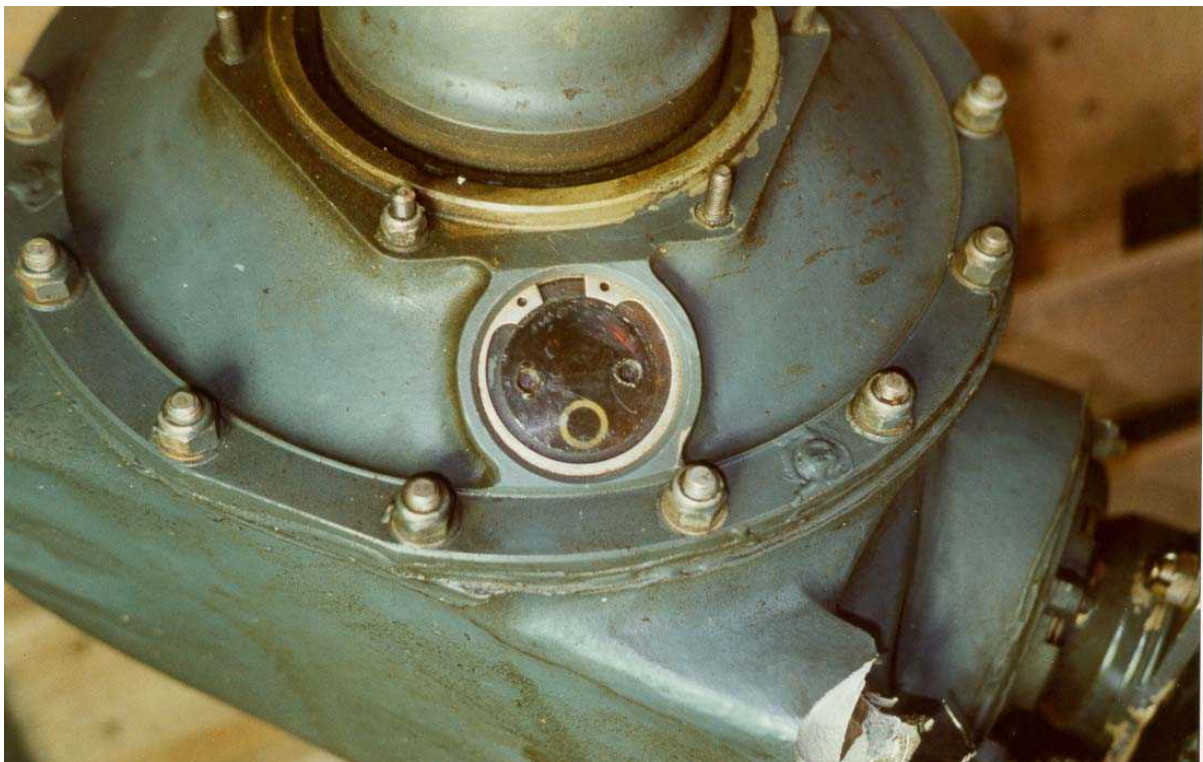
Berna, 20 novembre 2003

Ufficio d'inchiesta sugli infortuni aeronautici

**Il presente rapporto è stato redatto al solo scopo di favorire la prevenzione degli infortuni aeronautici. La valutazione giuridica delle cause e delle circostanze dell'infortunio non è oggetto dell'inchiesta (Art. 24 della Legge aeronautica del 21.12.1948, LFG, SR 748.0).**

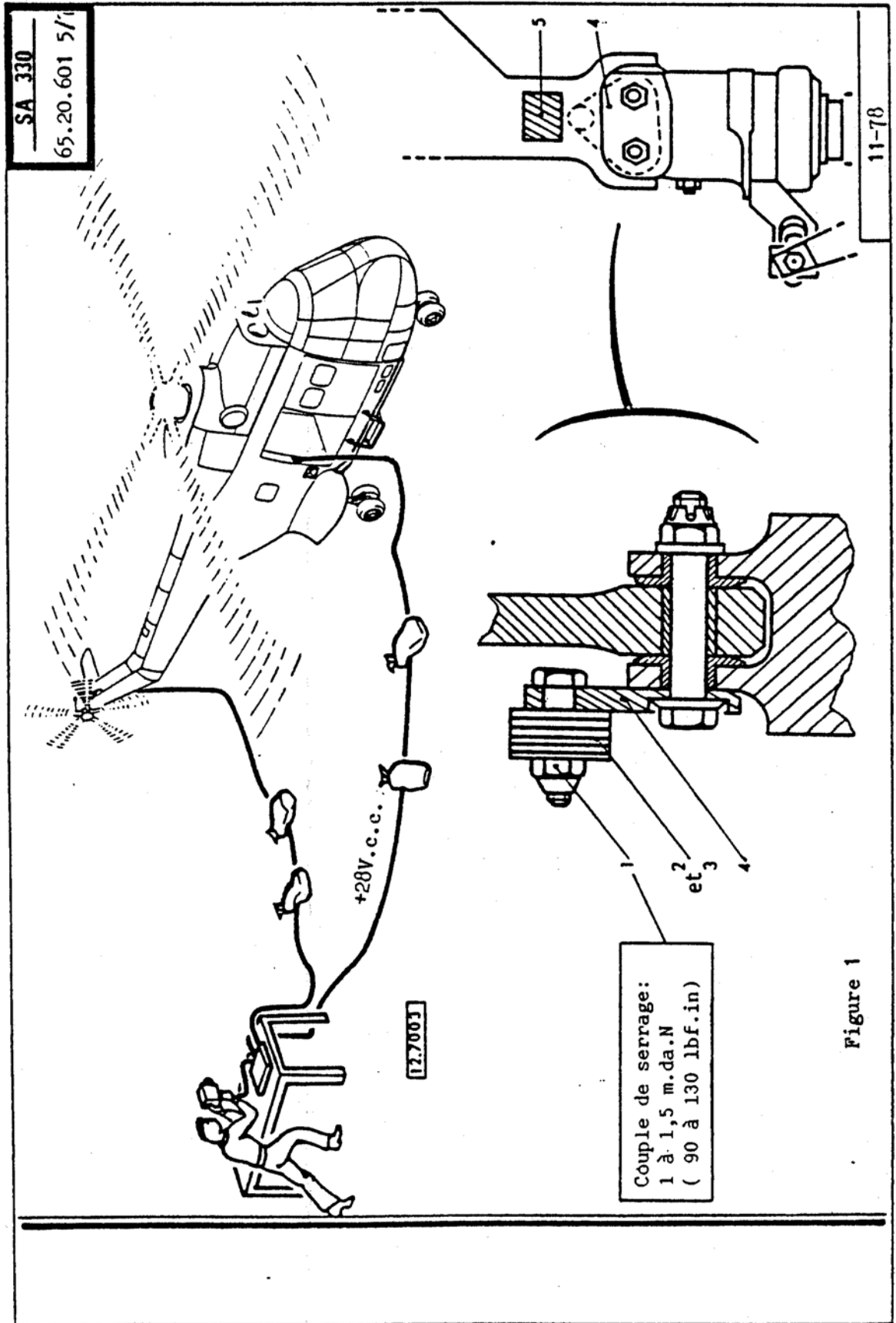


Scatola riduttrice del rotore di coda



Spia di controllo della scatola riduttrice del rotore di coda

C1	C2	CARTES RAPPELEES	<p style="text-align: center;"><u>ENSEMBLE MECANIQUE ARRIERE</u> Equilibrage du rotor anti-couple</p>	SA 330 65.20.601 3/1
Controlo			<p>3. <u>Correction</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déposer les écrous de fixation (1) des masses d'équilibrage (2 et 3) sur les supports (4) des manchons à équilibrer.</li> <li>- Mettre en place sur chaque support concerné, les masses d'équilibrage (2 et 3) pour obtenir la masse désirée.             <ul style="list-style-type: none"> <li>. Masse d'équilibrage (2) : masse = 7 grammes - épaisseur : 1 mm</li> <li>. Masse d'équilibrage (3) : masse = 15 grammes - épaisseur : 2 mm</li> </ul> </li> <li>- Poser les écrous (1).</li> <li>- Couple de serrage : 1 à 1,5 m.da.N (90 à 130 lbf.in)</li> </ul> <p>4. Répartition des masses d'équilibrage  <u>ATTENTION : LA MASSE MAXIMALE ADMISE SUR UN MANCHON EST DE 120 GRAMMES.</u>  <u>NOTA : Un équilibrage s'effectue en chargeant uniquement 2 pales. Si à la deuxième rotation de contrôle on retrouve un balourd résiduel sur d'autres pales, il faut vérifier qu'il n'y a pas d'erreur dans l'interprétation de l'abaque ou d'anomalies sur le rotor anti-couple ou dans l'installation d'enregistrement (position verticale de l'accéléromètre - cible sur pale rouge).</u>  <u>Equilibrage terminé, il ne doit y avoir que 2 pales chargées.</u></p> <p>5. <u>Vérification</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Effectuer un point fixe et procéder à un nouvel enregistrement du niveau vibratoire.</li> <li>- Rééquilibrer si nécessaire.</li> </ul> <p><u>NOTA : - L'équilibrage est satisfaisant pour un niveau vibratoire <math>\leq</math> à 0,2 I.P.S.</u>  - Ne pas chercher à affiner l'équilibrage en dessous de 0,2 I.P.S. ;  imprécision de la phase.  - Si au cours d'un équilibrage effectué pendant l'utilisation de l'appareil on trouve un balourd qui a changé d'azimut déposer les masses d'équilibrage existantes et rééquilibrer.  - En utilisation, seules 2 pales seront chargées en masses.</p> <p>F. <u>REMISE EN CONDITION</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Débrancher les câblages électriques</li> <li>2. Déposer l'accéléromètre et la cible</li> </ol>	06. 04

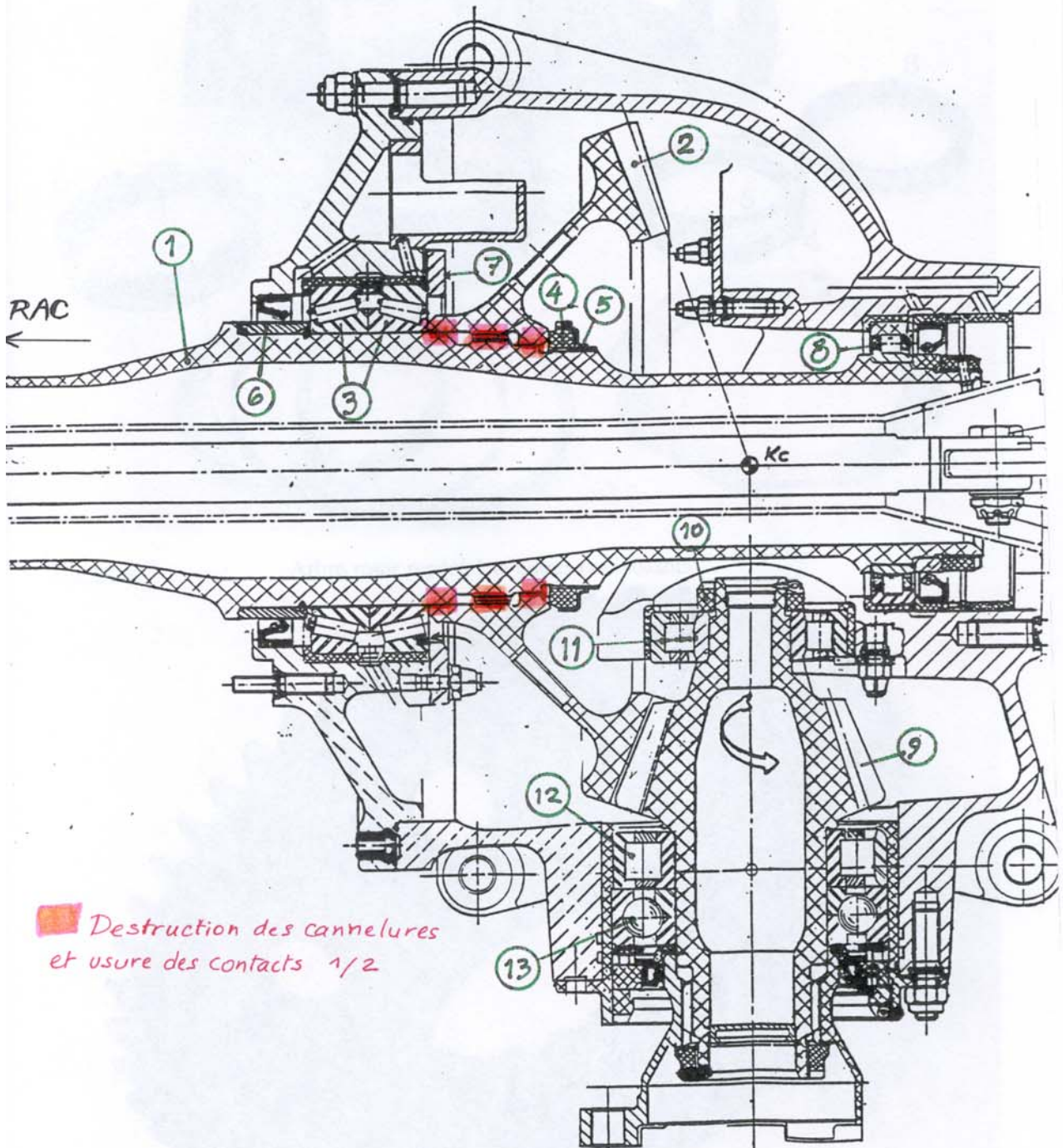


C1 C2



C.E.Pr	RAPPORT D'ESSAIS N° 281-EX-99	Page 15 PLANCHE 1
--------	-------------------------------	----------------------

SCHEMA DE LA B.T.A DU PUMA SA330



■ Destruction des cannelures  
et usure des contacts 1/2

Transmission AR



C.E.Pr	RAPPORT D'ESSAIS N° 281-EX-99	Page 16 PLANCHE 2
--------	-------------------------------	----------------------



Cliché 1 : Arbre rotor repéré 1 et autres composants



Cliché 2 : Roue dentée conique repérée 2

Fotografia 1: Albero del rotore segnato con 1 e altre componenti

Fotografia 2: Ruota dentata conica segnata con 2

C.E.Pr	RAPPORT D'ESSAIS N° 281-EX-99	Page 17 PLANCHE 3
--------	-------------------------------	----------------------

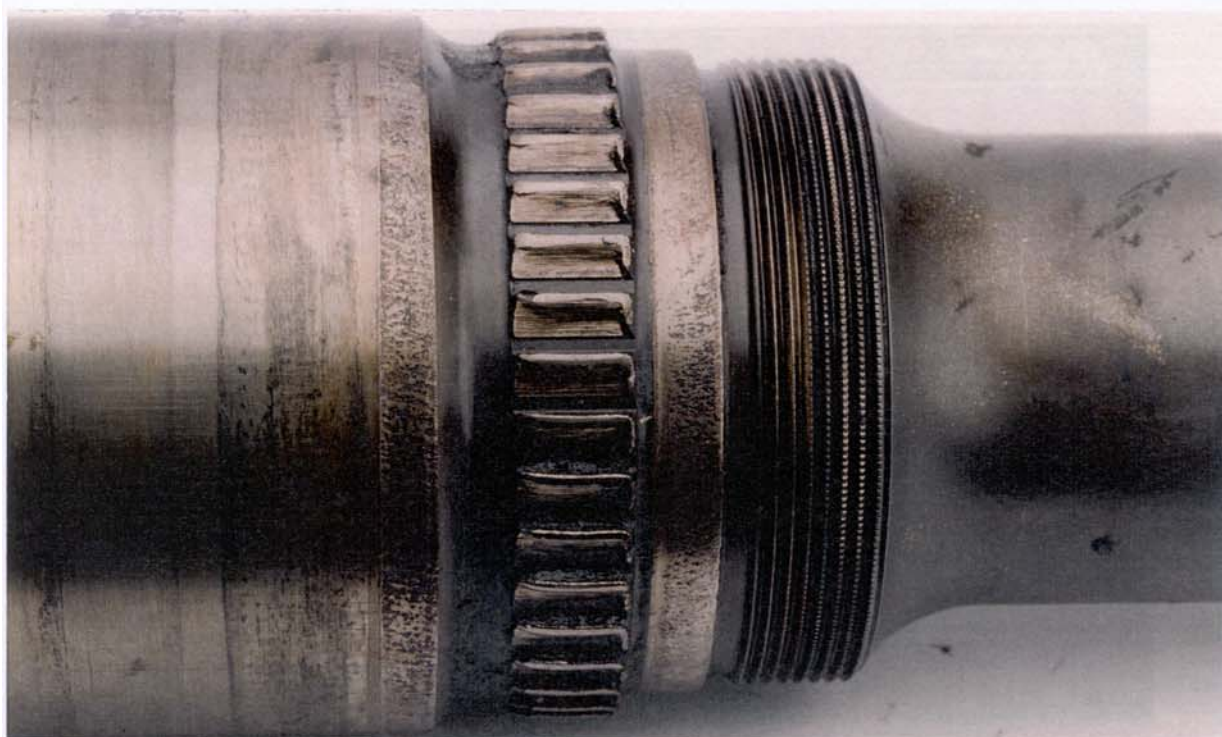


Cliché 3 : Pignon conique d'attaque repère 9 et composants associés fournis

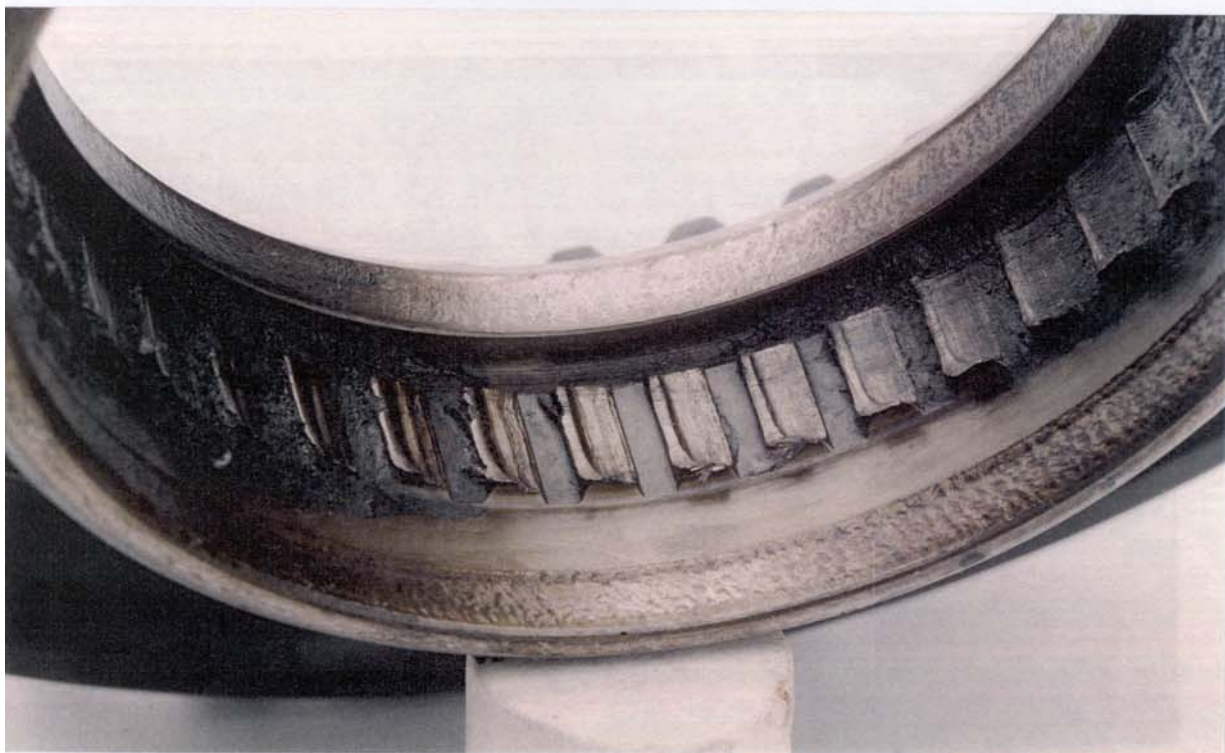
Fotografia 3: Pignone conico di collegamento riferimento 9 e componenti associate fornite



C.E.Pr	RAPPORT D'ESSAIS N° 281-EX-99	Page 18 PLANCHE 4
--------	-------------------------------	----------------------



Cliché 4 : Cannelures détruites et portées usées sur arbre rotor



Cliché 5 : Observations similaires dans le moyeu de la roue conique

Fotografia 4: Scanalature distrutte e portate usate sull'albero del rotore

Fotografia 5: Costatazioni similari sul mozzo della ruota conica





Contenitore che ha servito all'imbarco e posizione finale del relitto



Luogo del incidente, fotografato in agosto 2001