

DIFFUSION RESTREINTE



**MINISTÈRE DE LA DÉFENSE
ET DES ANCIENS COMBATTANTS**

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-T-2010-010-I

Date de l'événement	01 juin 2010
Lieu	Montauban
Type d'appareil	SA 342 M - Gazelle
Immatriculation	F-MGJO - n° 3965
Organisme	Aviation légère de l'armée de terre
Unité	EALAT - Base école Général Navelet

AVERTISSEMENT

COMPOSITION DU RAPPORT

Les faits, utiles à la compréhension de l'événement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'analyse des causes possibles de l'événement fait l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes certaines ou possibles. Enfin, dans le dernier chapitre, des propositions en matière de prévention sont présentées.

Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heures légales.

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 du deuxième chapitre de ce rapport et des suivants à d'autres fins que celle de la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

CREDIT ILLUSTRATIONS

Photographies

Page 1 (couverture) : armée de terre.

Pages 12, 13, 14 : BEAD-air.

Schéma

Page 21 : Google Earth.

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	2
TABLE DES MATIERES	3
SYNOPSIS	5
1. Renseignements de base	6
1.1. Déroulement du vol	6
1.2. Tués et blessés	7
1.3. Dommages à l'aéronef	7
1.4. Autres dommages	8
1.5. Renseignements sur le personnel	8
1.6. Renseignements sur l'aéronef	9
1.7. Conditions météorologiques	11
1.8. Aides à la navigation	11
1.9. Télécommunications	11
1.10. Renseignements sur l'aérodrome le plus proche	11
1.11. Enregistreurs de bord	11
1.12. Renseignements sur les endommagements de l'appareil et la zone de posé	12
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	14
1.14. Incendie	15
1.15. Survie des occupants	15
1.16. Essais et recherches	15
1.17. Renseignements sur la 18 ^{ème} ETCM de la 11 ^{ème} BSMAT	16
1.18. Renseignements supplémentaires	16
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	16
2. Analyse	17
2.1. Analyse des résultats des constatations et expertises de l'appareil	17
2.2. Analyse du vol	19
2.3. Recherche des causes des variations de régime du GTM	24
2.4. Analyse de la gestion de l'événement par l'équipage	28
3. Conclusion	31
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement	31
3.2. Causes de l'événement	31
4. Recommandations de sécurité	32
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	32
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	33
ANNEXES	35
ANNEXE 1 Principaux résultats d'expertise	36
ANNEXE 2 Procédures d'urgence associées à l'événement	40
ANNEXE 3 Incidents et pannes associés à l'événement	41
ANNEXE 4 Résultats d'expertises de matériels ayant subi un événement similaire	42
ANNEXE 5 Retour d'expérience de « Gazelle » comportant un mode vibratoire particulier	47
ANNEXE 6 Historique de la « Gazelle » SA 342 M n° 3965 dans les derniers mois	49

GLOSSAIRE

ALAT	Aviation légère de l'armée de terre
BEGN	Base école Général Navelet
BSMAT	Base de soutien du matériel
BTP, BTI, BTA	Boîte de transmission principale, intermédiaire, arrière
CAG	Circulation aérienne générale
COMALAT	Commandement de l'ALAT
COMALAT/BSV	Bureau sécurité des vols du COMALAT
DGA	Direction générale de l'armement
DGA/EP	DGA essais propulseurs de Saclay
EALAT	Ecole de l'aviation légère de l'armée de terre
EPI	Enquêteur de première information
GTM	Groupe Turbomoteur
GPS	<i>Global positioning system</i> - système mondial de positionnement par satellite
IPS	Impulsions par seconde
ME	Membre d'équipage
MHz	MégaHertz
MVAVT	Mécanicien navigant
Nm	<i>Nautical mile</i> – Mille nautique (1 Nm = 1852 mètres)
Nr, Ng	Régime de rotation du rotor principal, du turbomoteur
PA	Pilote automatique
PCB	Pilote commandant de bord
PG	Pas général
QNH, QFE	Pression atmosphérique au niveau de la mer, du terrain
RAC	Rotor anti-couple
SIMMAD	Structure intégrée du maintien en condition opérationnelle des matériels aéronautiques du ministère de la défense
SMITER	Service de maintenance industrielle terrestre
VHF, UHF	<i>Very high frequency</i> – très haute fréquence <i>Ultra high frequency</i> – ultra haute fréquence
Vi, Vz	Vitesse indiquée, vitesse ascensionnelle
Pilote VT	Pilote vol technique
VFR	<i>Visual flight rules</i> - règles de vol à vue
WGS84	Référentiel géodésique « <i>World geodesic system of 1984</i> »

SYNOPSIS

Date de l'événement : mardi 1^{er} juin 2010 à 09 h 18.

Lieu de l'atterrissage d'urgence : 1,5 Nm dans le 060° de l'aérodrome de Montauban.

Organisme : aviation légère de l'armée de terre (ALAT) / service de maintenance industrielle terrestre (SMITER).

Unité : Ecole de l'aviation légère de l'armée de terre (EALAT) - Base école Général Navelet de Dax (BEGN).

Aéronef : hélicoptère SA 342 M « Gazelle » n°3965.

Nature du vol : Vol de convoyage en VFR à partir de Montauban et à destination de Clermont-Ferrand.

Nombre de personnes à bord : quatre.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Quelques minutes après le décollage, en croisière, les personnes à bord de l'hélicoptère ressentent des battements autour de l'axe de lacet supérieurs à 30°. Ces à-coups se reproduisant de façon périodique, le pilote commandant de bord (PCB) effectue un atterrissage d'urgence en campagne. Les quatre personnes embarquées sont indemnes. La « Gazelle » est endommagée.

Composition du groupe d'enquête technique

- Un directeur d'enquête du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air).
- Un enquêteur de premières informations (EPI).
- Un expert pilote, breveté moniteur.
- Un expert mécanicien.
- Un médecin du personnel navigant.

Autres experts consultés

- Société Turboméca (sites de Bordes et Tarnos).
- Société Eurocopter France (site de Marignane).
- DGA essais propulseurs de Saclay (DGA/EP).
- Institut de recherche biomédical des armées (IRBA).

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air a été informé par téléphone le jour de l'incident vers 15 h 00 par le bureau de sécurité des vols du commandement de l'ALAT (COMALAT/BSV).

Le BEAD-air a désigné un pilote d'hélicoptère pour assurer les fonctions d'EPI.

Le groupe d'enquête est arrivé à Montauban dans la matinée du 02 juin 2010.

Un message de premières informations a été émis par le BEAD-air dans l'après-midi du 03 juin.

Enquête judiciaire

La section du parquet en charge des affaires pénales militaires près du tribunal de grande instance de Toulouse s'est saisie de l'affaire. Un officier de police judiciaire de la brigade de gendarmerie de l'air de la base aérienne de Mont-de-Marsan assure la direction de l'enquête judiciaire.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Contexte de la mission

Le vol s'inscrit dans le cadre du convoyage de la « Gazelle » n° 3965 chez l'industriel pour opération de maintenance. La semaine précédant l'événement, un équipage de la Base école Général Navelet (BEGN) de Dax a convoyé l'hélicoptère depuis Dax vers Montauban. Un équipage de la 11^{ème} base de soutien du matériel (BSMAT) de Montauban a alors pour mission d'effectuer le convoyage de la « Gazelle » vers Clermont-Ferrand. Ce vol, initialement envisagé le lundi 31 mai est annulé pour raisons météorologiques et reprogrammé le mardi 1^{er} juin avec un décollage à 09h00.

1.1.2. Mission

Indicatif mission : F-MGJO.

Type de vol : VFR en CAG.

Type de mission : convoyage.

Dernier point de départ : aéroport de Montauban.

Heure de décollage : 09 h 15.

Point d'atterrissage prévu : aéroport de Clermont-Ferrand.

1.1.3. Déroulement

Selon le témoignage des personnes embarquées, environ deux minutes après le décollage de Montauban en QFU 32 et quelques dizaines de secondes après la mise en palier en augmentation de vitesse vers 180 km/h, à environ 200 mètres/sol, au cap 030°, pas général (PG) en 1ère butée sans évolution, une première variation angulaire autour de l'axe de lacet supérieure à trente degrés est ressentie.

Quelques secondes plus tard, un 2^{ème} battement similaire se produit suivi de plusieurs autres. Après avoir initialement envisagé un retour vers le terrain de Montauban, puis une autorotation en campagne, un atterrissage d'urgence en campagne est finalement décidé par le PCB. Il envoie un message de détresse sur la fréquence auto information de Montauban.

Durant la trentaine de secondes précédant l'atterrissage en campagne des battements similaires, en augmentation angulaire, se produisent toutes les deux à trois secondes.

En descente à 120 km/h, PG proche de sa butée mini, les derniers battements atteignent une amplitude angulaire de plus de 45°. A quelques mètres de hauteur une ressource dite « flare » est initiée avec une première application de PG. La «Gazelle » touche le sol avec le sabot de la poutre de queue au moment de sa remise à plat. Deux bruits brefs type « pompage » sont perçus.

DIFFUSION RESTREINTE

La « Gazelle » glisse sur ses patins et s'enfonce légèrement dans le sol meuble récemment cultivé. Le PCB appelle par la radio de bord les opérations de l'escadrille de la 11^{ème} BSMAT pour les informer du bon état de santé des personnes embarquées.

A 09 h 29, les premiers secours arrivent sur le site de l'incident situé à 1,5 Nm dans le 060° de l'aéroport de Montauban. Les quatre personnes embarquées sont indemnes.

1.1.4. Localisation de l'atterrissage d'urgence en campagne

- Lieu :
 - pays : France ;
 - département : Tarn et Garonne ;
 - commune : Montauban ;
 - coordonnées géographiques :
 - N 44°02'27'' ;
 - E 001° 24'20''¹.
 - altitude : environ 350 ft.
- Moment : jour.
- Aérodrome le plus proche au moment de l'événement : aéroport de Montauban à 1,5 Nm dans le 240°.

1.2. Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles			
Graves			
Légères			
Aucunes	4		

1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
			X	

¹ Dans ce rapport, les coordonnées sont données en degrés, minutes et secondes dans le référentiel géodésique « WGS84 ».

1.4. Autres dommages

Néant.

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Pilote commandant de bord en place droite

- Age : 43 ans.
- Unité d'affectation : 11^{ème} BSMAT depuis 10 ans ;
 - fonction dans l'unité : pilote.
- Formation :
 - qualification : chef de bord sur « Gazelle », pilote sur « Puma » et « Fennec », pilote vol technique (VT),
 - école de spécialisation : école d'application de l'aviation légère de l'armée de terre (EALAT),
 - année de sortie d'école : 1991.
- Heures de vol comme pilote d'hélicoptère :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Sur « Gazelle »	Sur tous types	Sur « Gazelle »	Sur tous types	Sur « Gazelle »
Total	4605	1562	114	43	6	4
Dont nuit	218	75	0	0	0	0
Dont VSV	146	0	0	0	0	0

- Date du dernier vol comme pilote :
 - sur l'aéronef :
 - de jour : 26 mai 2010 ;
 - de nuit : année 2000.
 - sur tous types :
 - de jour : 26 mai 2010 ;
 - de nuit : 22 septembre 2009 sur AS 555 « Fennec ».

1.5.2. Membres d'équipage

Les trois militaires assis en place avant gauche et en places arrières sont enregistrés comme membre d'équipage (ME) sur le cahier d'ordre. La personne en place avant gauche est mécanicien navigant, contrôleur sur « Gazelle ».

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de terre.
- Unité d'affectation : EALAT - BEGN - Dax.
- Type d'aéronef : « Gazelle » SA 342 M.
- Caractéristiques :

	Type	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis
Cellule	SA 342 M	3965	3451,1 h	VP² : 799,6 h
Turbomoteur	Astazou XIV M	8261 / 7218	4014,5 h	RG³ : 1637,7 h VP : 799,6 h
Régulateur	/	357B	1623,3 h	Protocole X283-72-55-01 + modifications M52, 55, 58 : 3,3 h

1.6.1. Maintenance**1.6.1.1. Généralités**

L'aéronef fait l'objet d'une restriction de vol concernant l'utilisation de l'horizon de secours. L'examen de la documentation technique témoigne d'un entretien conforme aux programmes de maintenance en vigueur.

1.6.1.2. GTM, régulateur

Concernant le régulateur, le protocole X283-72-55-01 a été appliqué par Turboméca en janvier 1996 à 1620 h (temps de fonctionnement total), livré à l'ALAT en mai 2009 et posé sur le GTM de la « Gazelle » n° 3965 en mai 2010 par l'EALAT de Dax.

Les modifications M52, M55 et M58 ont été effectuées par Turboméca début 2009 avant la livraison à l'ALAT.

² VP = visite périodique.

³ RG = révision générale.

Les caractéristiques du GTM lors du vol technique effectué en mai 2010 sont dans les tolérances et sont les suivantes :

- temps d'autorotation : 62 s (neuf : 56 s).
- niveau vibratoire et régime GTM :

Niveau vibratoire			
Embrayage		GTM	
0,7 IPS		0,1 IPS	
Régime GTM			
Ralenti		Régulé	
Lu	Réel	Lu	Réel
25 800 tr/min	25 470 tr/min	43 000 tr/min	42 920 tr/min

Le protocole X283-72-55-01 consiste en une vérification systématique des régulateurs de type Astazou IIIC2 et XIV M revenant chez l'industriel (quel que soit le motif de retour). Cette procédure a été mise en place suite à des problèmes de battements de régime en utilisation. Divers opérations sont effectuées dont :

- un nettoyage au kérosène sous pression du carter démonté ;
- des contrôles visuels ;
- des remplacements de pièces coulissantes.

Les objets des modifications M52, 55 et 58 sont respectivement « adjonction d'une butée de fin de course du piston doseur », « limiteur de débit en 6061 et revêtement autolubrifiant du piston » et « lubrification du tiroir du distributeur ». Ces modifications comportent des changements de pièces internes au régulateur et des alésages du corps principal du régulateur. De plus, le dossier de travail du régulateur montre qu'une opération de nettoyage des circuits internes du corps principal a été effectuée chez un sous-traitant de Turboméca à la fin des opérations de réparation (équivalente au protocole X283-72-55-01).

1.6.2. Masse et centrage

- Masse maximale autorisée au décollage : 1900 kg.
- Masse estimée à la mise en route : 1911 kg.
- Masse estimée au moment de l'atterrissage d'urgence : 1903 kg.
- Centrage longitudinal estimé au moment de l'événement : 2,92 mètres, ce qui correspond à un centrage normal.

1.6.3. Carburant

- Type de carburant utilisé : carburéacteur F-34.
- Quantité de carburant embarqué au départ de Montauban : 400 litres.
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : 390 litres.

1.7. Conditions météorologiques

Les informations suivantes ont été prises en compte par le PCB avant la mise en route⁴ :

- vent : 310° / 6 kt.
- visibilité : supérieure à 10 km.
- nébulosité : fragmenté à 1600 ft.
- température : +16° - point de rosée : +14°.
- QNH : 1019 hPa.

1.8. Aides à la navigation

Sans objet.

1.9. Télécommunications

Le PCB est en émission-réception sur la fréquence VHF auto information du terrain de Montauban. Cette fréquence est veillée par les pompiers et le bureau opération de la 11^{ème} BSMAT.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome le plus proche

L'aérodrome de Montauban est non contrôlé ouvert à la circulation aérienne publique.

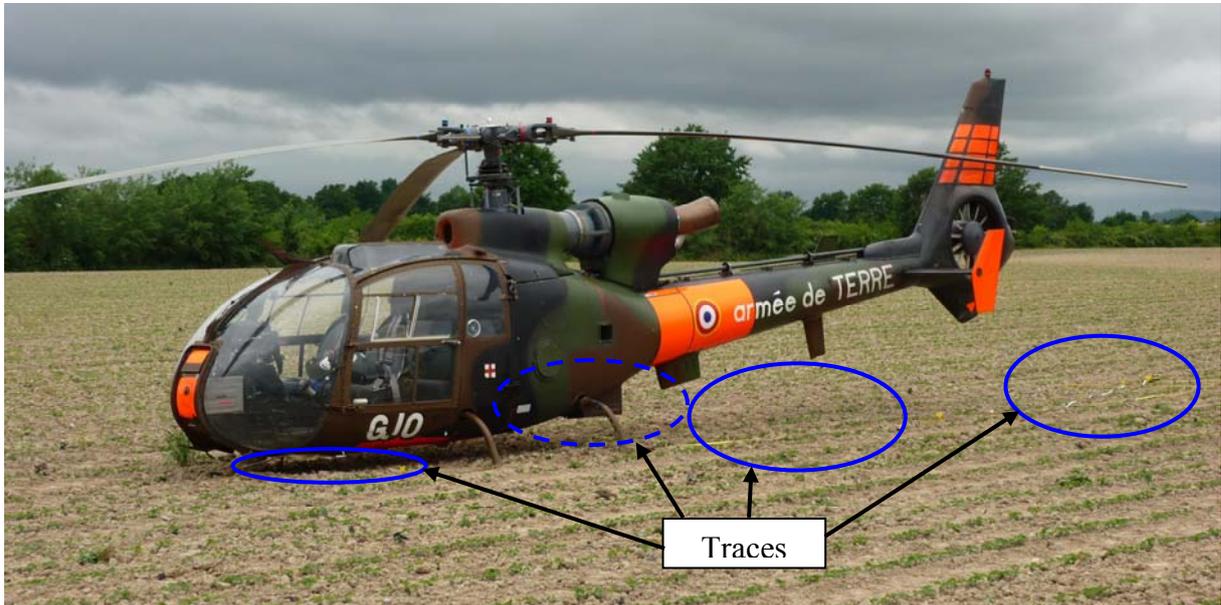
1.11. Enregistreurs de bord

Les hélicoptères de type « Gazelle » en service dans l'ALAT ne sont pas équipés d'enregistreur de paramètres ou de phonie. L'équipage n'est pas équipé de GPS portable.

⁴ Relevé de la station Météo France de l'aérodrome de Montauban à 8 h 00.

1.12. Renseignements sur les endommagements de l'appareil et la zone de posé

1.12.1. Examen de la zone de posé



Zone d'atterrissage

L'hélicoptère s'est posé dans un champ récemment ensemené.

Quatre traces distinctes y sont observées :

- deux traces d'une longueur de six mètres environ, d'une profondeur de 10 cm se terminant au niveau de l'arrière des patins. La trace du patin droite est plus profonde que celle du patin gauche ;
- une trace d'une longueur de un mètre environ, d'une profondeur de 10 cm située à l'arrière du sabot de la poutre de queue ;
- une trace d'environ deux mètres d'une profondeur de 15 cm se terminant au niveau du couteau « coupe câble ».

1.12.2. Examen de l'appareil



Présentation générale des dégradations

L'hélicoptère comporte les dégradations suivantes :

- légères traces de terre sur le sabot sans déformation apparente ;
- enfoncement non perforant sur le pied de dérive correspondant à l'écaillage du touchot d'une pôle (témoin de bout de pôle) ;
- affaissement apparent des patins et écaillage de la peinture de la demi-voie arrière droite ;
- tube pitot déformé.;

Au niveau du poste de pilotage :

- la commande de frein rotor est en position « libre » ;
- la manette de débit est en position « arrière⁵ » ;
- la commande du robinet coupe-feu est en position « fermée » ;
- l'aiguille du radioaltimètre indique 102 mètres.

⁵ La position arrière de la manette de débit correspond à la position de démarrage et de ralenti.



Position de commandes et indication du radioaltimètre

Les constatations visuelles de l'appareil ne révèlent aucune dégradation ou anomalie en particulier au niveau :

- du turbomoteur (la vanne de décharge est en position ouverte, le régulateur en position ralenti) ;
- de l'ensemble de la chaîne de transmission de puissance (depuis le turbomoteur vers les rotors principal et anti-couple y compris l'ensemble « embrayage roue libre ») ;
- des commandes de vol.

Les bouchons magnétiques du GTM et des BTP, BTI et BTA sont exempts de particules. L'endoscopie du GTM a révélé deux anomalies au niveau de la chambre de combustion : une crique au niveau de la tôle de turbulence arrière et de la présence de dépôt noirâtre de type calamine au niveau de la roue d'injection.

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Renseignements médicaux et pathologiques du PCB

- Dernier examen médical :
 - type : visite révisionnelle du personnel navigant (VRPN).
 - date : 02/03/10.
 - résultat : apte pilote.
 - validité : 6 mois.
- Examens biologiques : négatifs.
- Blessure : néant.

1.13.2. Renseignements médicaux et pathologiques des trois personnes embarquées

- Blessure : néant.

1.14. Incendie

Sans objet.

1.15. Survie des occupants

Une fois la « Gazelle » stabilisée au sol, le pilote tire la manette coupe-feu et annonce sur la fréquence « posé, pas de blessé ». Le GTM, tournant encore pendant une quinzaine de secondes à un régime inférieur à 5000 tr/min, est définitivement coupé par réduction de la manette de débit. Les quatre personnes embarquées évacuent l'appareil.

1.15.1. Organisation des secours.

Quelques minutes après le décollage de la « Gazelle », trois pompiers à bord du véhicule polyvalent incendie (VPI) entendent l'appel suivant « sécurité, sécurité, *autorot, autorot* ». Ce message a été perçu par le personnel se trouvant dans la salle des opérations de l'escadrille. Compte tenu de l'activité dans cette pièce, le message n'a pas été clairement entendu mais la gravité de la situation a été perçue.

Après quelques secondes, le message suivant : « posé, pas de blessé » est entendu. L'officier opérations de l'escadrille contacte le PCB sur son téléphone mobile. Celui-ci lui confirme l'intégrité de l'équipage, lui communique sa position.

Les secours arrivent sur le site de l'événement cinq à sept minutes après l'annonce du message de détresse et environ trente minutes plus tard, l'équipage est pris en compte par un infirmier du 17^{ème} régiment de génie parachutiste.

1.15.2. Balise de détresse de la « Gazelle »

La balise de détresse « ELTA » de type ERSX3B a été retrouvée en bon état apparent à son emplacement et en position « auto ». Aucun signal n'a été enregistré par le centre de coordination et de sauvetage (CCS).

1.16. Essais et recherches

1.16.1. Expertises réalisées

Les équipements suivants ont été déposés pour expertise :

- le mini-contacteur badin du PA ;
- le calculateur PA ;
- le GTM Astazou XIV M et son régulateur.

1.17. Renseignements sur la 18^{ème} ETCM de la 11^{ème} BSMAT

La 18^{ème} escadrille de transport et de convoyage du matériel (18^{ème} ETCM) appartient à la 11^{ème} BSMAT.

L'ETCM est constituée de trois pelotons dont un peloton hélicoptères et un peloton de « sécurité-sauvetage-incendie ».

Le peloton hélicoptères comporte huit pilotes dont la mission est la perception, la livraison et le convoyage d'hélicoptères entre l'industriel et les unités de l'ALAT ainsi que la réalisation des vols techniques sur les hélicoptères après intervention. Le personnel de ce peloton est qualifié sur plusieurs types d'appareil de l'ALAT et effectue les livraisons, et les perceptions d'appareils en équipe avec les mécaniciens de la 11^{ème} BSMAT.

L'escadrille ne possède pas d'hélicoptère affecté. L'entraînement des équipages s'effectue, après accord du COMALAT, sur le potentiel résiduel des aéronefs convoyés avant ou après visite périodique.

Les missions particulières de cette escadrille amènent les pilotes à réaliser les vols pilote seul à bord et à mettre en œuvre des appareils ayant subi des interventions mécaniques ou en limite de potentiel.

La 11^{ème} base de soutien du matériel ne possède pas de service de santé. Le soutien sanitaire est assuré par les médecins du 17^{ème} régiment de génie parachutiste (RGP) situé à vingt minutes de la base.

1.18. Renseignements supplémentaires

Néant.

1.19. Techniques spécifiques d'enquête

Néant.

2. ANALYSE

Confronté à des battements en lacet, le PCB prend la décision d'atterrir d'urgence en campagne. L'aéronef est endommagé. En l'absence d'enregistreur, l'analyse repose essentiellement sur les témoignages du PCB et des trois personnes embarquées, sur les résultats d'expertises de l'appareil et d'investigation sur d'autres appareils ayant subi un événement similaire.

Le premier paragraphe analyse les résultats des constatations sur l'appareil et expertises réalisées. L'analyse du vol est effectuée dans le deuxième paragraphe. Le troisième paragraphe détermine les causes des variations de régime du GTM. Enfin, le dernier paragraphe analyse la gestion de la panne rencontrée par le PCB.

2.1. Analyse des résultats des constatations et expertises de l'appareil

2.1.1. Scénario de dégradation de l'appareil

Les constatations sur l'appareil figurent au paragraphe 1.12. Les dégradations constatées sont consécutives à l'atterrissage d'urgence. Le scénario de dégradation est le suivant.

L'appareil impacte le sol avec une assiette positive permettant au sabot de toucher le sol. Selon les témoignages des personnes embarquées et des traces au sol, l'arrière des patins impacte le sol quasiment simultanément. Un faible roulis à droite amène une déformation et un enfoncement plus important du patin droit. Une déformation élastique de la poutre de queue au moment de l'impact du sabot a permis un contact de deux touchots de pales amenant :

- à l'enfoncement non perforant sur le pied de dérive ;
- l'écaillage d'un touchot ;
- deux bruits brefs de type « pompage ».

La « Gazelle » glisse sur environ six mètres en basculant vers l'avant avec ouverture des patins. Le tube pitot s'est alors déformé.

L'application du PG par le pilote à l'impact a permis d'amortir le contact de l'hélicoptère et n'a pas généré de traumatisme des vertèbres des personnels embarqués. La décélération horizontale, consécutive à la glissade sur six mètres environ, n'a pas généré le déclenchement de la balise de détresse⁶.

Les personnes embarquées témoignent qu'une quinzaine de secondes après avoir tiré la manette coupe-feu, le GTM n'était toujours pas éteint. C'est la probable conséquence de la consommation du carburant présent entre le robinet coupe-feu et la roue d'injection du moteur.

Les dégradations constatées sur l'appareil sont consécutives à l'atterrissage d'urgence. Le scénario de dégradation a pu être déterminé.

⁶ Critères d'activation de la balise de détresse : facteur de charge > 3 ou vitesse d'impact > 2.44 m/s.

2.1.2. Résultats d'expertise.

Les résultats d'expertises figurent en annexe 1.

2.1.2.1. Expertises concernant le GTM

Essais et démontage du GTM

Le passage au banc du GTM n'a pas révélé d'anomalie de nature à reproduire l'événement. Les résultats de l'essai sont conformes aux critères de réception de l'Astazou XIV M. En particulier, il a été démontré un comportement normal de la phase de régulation « à-coup en lacet »⁷. Aucune anomalie vibratoire n'a été constatée.

Le démontage du GTM n'a pas révélé d'anomalie de nature à reproduire l'événement. Les anomalies constatées (crique et pollution légère dans la chambre de combustion, fuite d'huile d'un joint *sealoil*) ne sont ni à l'origine ni la conséquence de l'événement⁸. La vanne de décharge ne présente pas d'anomalie de fonctionnement.

Essais et démontage du régulateur

Le passage au banc d'essai du régulateur n'a pas révélé d'anomalie de nature à reproduire l'événement. Par ailleurs, des contrôles ont montré un réglage de trois minirupteurs hors tolérance. Cette opération a été effectuée 1,1 heure avant l'événement suite à l'allumage du voyant « ALARM » (cf. annexe 6). Deux réglages sont sans relation avec l'événement. Le réglage du minirupteur correspondant à la position « vol » de la manette de débit permet l'allumage du voyant « ALARM » lorsqu'elle n'est pas dans la position « vol ». Ainsi, il est possible que l'allumage supposé continu du voyant « ALARM » lors de l'événement soit la conséquence d'un effort, consécutif aux battements en lacet, sur l'ensemble de la commande⁹ amenant à l'activation du minirupteur du voyant. Enfin une quantité importante de particules a été prélevée en sortie¹⁰ de régulateur au niveau d'un filtre du banc d'essai.

Le démontage du régulateur confirme la présence de particules à divers endroits internes au régulateur ainsi que la présence de nombreuses rayures et endommagements associés à la présence de ces particules.

Recherche de l'origine des particules

L'examen technique révèle la présence de particules de différentes tailles dont certaines supérieures au pouvoir filtrant du filtre¹¹ interne au régulateur. Ce filtre a été constaté en bon état. Le nombre de particules à l'intérieur du régulateur lors de l'expertise est plus faible que lors de l'événement puisqu'une partie de ces particules a été injectée dans la chambre de combustion.

⁷ Réduction de la charge du niveau maximum au minimum du frein hydraulique avec une variation de P2 inférieure à 5kPa.

⁸ Ces anomalies sont régulièrement constatées lors d'opérations de maintenance.

⁹ Commande mécanique composé d'un câble « téléflex » entre la manette de débit présent en cabine et le régulateur.

¹⁰ Le filtre du banc d'essai en sortie de régulateur à un pouvoir filtrant de 12 microns, celui situé à l'arrivée du carburant, 3 microns.

¹¹ Le pouvoir filtrant du filtre du régulateur est de 20 microns.

La composition des matériaux constituant les particules sont de différentes natures d'origines externe ou interne au régulateur. Certaines particules sont de nature similaire au corps du régulateur usiné lors de l'application de la modification n° 55, 3,3 heures de fonctionnement avant l'événement.

Des rayures sont présentes sur des pièces neuves montées lors de l'application des modifications et donc apparues durant les 3,3 heures de fonctionnement du régulateur¹² depuis application de ces modifications. Selon l'opérateur contrôleur, ces rayures sont considérées plus importantes que celles observées sur d'autres matériels en maintenance.

L'opération de nettoyage des circuits internes du corps principal du régulateur effectuée après l'application des modifications n'a pas permis de dépolluer le régulateur. Les particules d'origine externe au régulateur ont pu s'introduire avant ou après cette opération de nettoyage prévue dans le processus final de maintenance.

2.1.2.2. Autres expertises

L'examen technique du mini-contacteur badin de la chaîne PA montre une valeur de déclenchement erratique se situant aux alentours de 150 km/h au lieu de 90 km/h. Cette anomalie ne peut pas à elle seule expliquer l'événement. Toutefois, la valeur de déclenchement se situant aux alentours de 150 km/h, vitesse de l'appareil lors de l'apparition du premier battement, le mini-contacteur badin aurait pu se déclencher à ce moment là.

2.1.2.3. Bilan des expertises

Les expertises ont révélé la présence de nombreuses particules à divers endroits à l'intérieur du régulateur ainsi que la présence de nombreuses rayures et endommagements dus à ces particules. Les conséquences de la présence de particules peuvent être des blocages plus ou moins importants et durables générant un dysfonctionnement du régulateur. L'opération de nettoyage des circuits internes au corps principal du régulateur effectuée chez l'industriel 3,3 heures de fonctionnement avant l'événement n'a pas permis de dépolluer le régulateur. Les particules d'origine externe au régulateur ont pu s'introduire avant ou après cette opération de nettoyage prévue dans le processus final de maintenance..

Une anomalie de fonctionnement du mini-contacteur badin a pu intervenir dans le déclenchement de la séquence d'événement.

2.2. Analyse du vol

Ce paragraphe est basé sur une synthèse des témoignages des quatre personnes embarquées.

2.2.1. Scénario du vol

La première phase de vol depuis le décollage jusqu'au premier battement en lacet dure deux minutes environ. Aucune anomalie n'est ressentie.

¹² Sans compter le temps de fonctionnement du régulateur aux bancs d'essai GTM et régulateur lors des expertises.

La deuxième phase de vol depuis le 1^{er} battement jusqu'à l'atterrissage d'urgence dure environ trente secondes et comporte 8 à 10 battements.

L'environnement associé au premier battement en lacet est le suivant :

- deux minutes après le début du décollage ;
- quelques dizaines de secondes après la mise en croisière ;
- Vi en augmentation proche de 180 km/h ;
- hauteur : environ 200 mètres ;
- pas général : en 1^{ère} butée sans évolution ;
- PA engagé en mode de base.

Après le 2^{ème} battement, le PCB envisage un retour vers Montauban. Après le 3^{ème} battement, une autorotation avec reprise moteur¹³ est envisagée et annoncée sur la fréquence. Prenant en compte les obstacles au sol, le PCB décide finalement d'effectuer un atterrissage d'urgence sur une zone dégagée. Le dosage au PG est effectué avec un couplemètre se situant aux alentours de 30%.

Les caractéristiques ressenties par les quatre personnes embarquées sont les suivantes :

- environ 8 à 10 à-coups selon une périodicité de l'ordre de 3 secondes ;
- variation angulaire autour de l'axe de lacet supérieur à 30° pour le premier ;
- variation angulaire en augmentation pour les suivants ;
- variation angulaire autour de l'axe de lacet supérieur à 45° pour les derniers ;
- à chaque battement :
 - évolution de régime du GTM de l'ordre de 5000 tr/min initialement en diminution puis en augmentation (ressenti sonore) ;
 - allumage et extinction des voyants ambres « ALTER » et « NAV » plutôt au début du battement ;
 - le voyant ambre « PA » n'a jamais été constaté allumé ;
 - retentissement de l'alarme « survitesse du rotor » puis arrêt vers la fin du battement ;
 - allumage du voyant « ALARM » rouge constaté dès le 1^{er} battement. Le PCB ne le verra jamais éteint pendant le reste du vol ;
 - le sens des battements en lacet est ressenti à gauche pour les personnes aux places avant, à droite par celles aux places arrières ;
 - à l'exception du 1^{er} battement où la personne en place avant gauche ressent des vibrations, aucun autre indice d'anomalie n'est ressenti (vibration, odeur, etc) ;
 - aucun point dur n'est ressenti au niveau des manches cyclique et collectif ou au palonnier par le pilote aux commandes ;
 - les paramètres Ng, Nr, T4, couple (%) n'ont pas été lus par les personnes embarquées.

¹³ Sans réduction de la manette de débit.

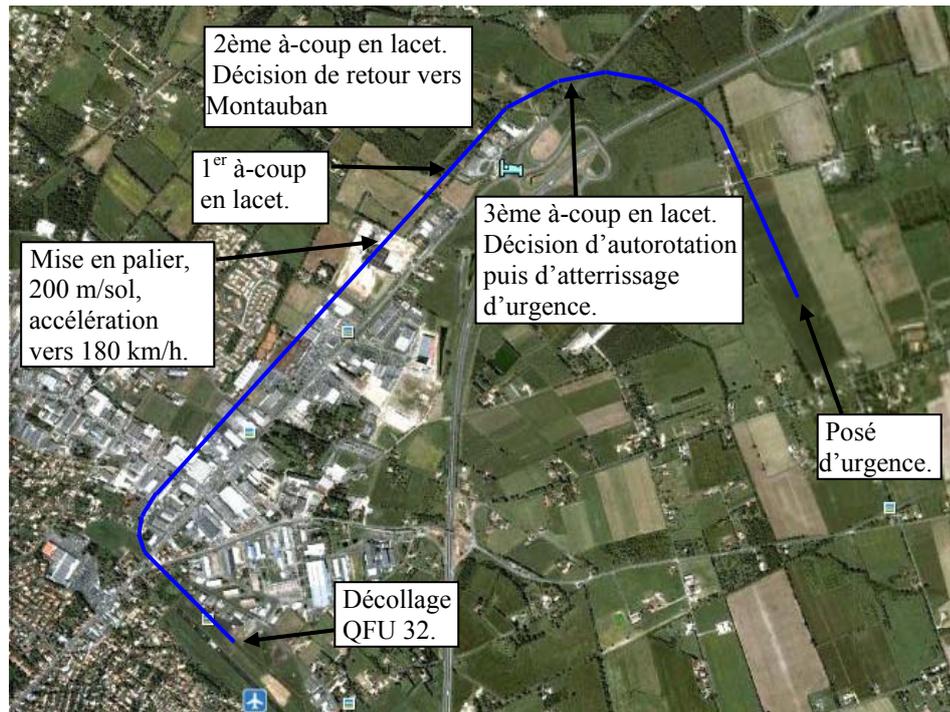
DIFFUSION RESTREINTE

Rapport d'enquête technique

Le PCB coupe la turbine au sol quelques secondes après l'atterrissage par action sur la manette de débit alors que le GTM remonte en régime et que l'alarme sonore survitesse du rotor retentit à nouveau. Au sol, avant que le GTM ne soit arrêté, aucune vibration cellule n'est ressentie.

2.2.2. Trajectoire suivie

La trajectoire dans le plan horizontal a été établie à partir du témoignage du PCB.



Trajectoire de la « Gazelle » n° 3965

2.2.3. Analyse des variations de régime du GTM

Les variations de régime du GTM ont pu être analysées à partir des caractéristiques suivantes:

- allumage des voyants « ALTER » et « NAV » en dessous de 42 000 tr/mn
- allumage du voyant « PA » en dessous de 40 620 tr/mn ;
- couplage/conjonction de l'alternateur ;
- activation de l'alarme sonore « NR » survitesse dans la plage comprise entre 46 111 tr/mn et 46 666 tr/mn ;
- régime moteur régulé (3,3 h de fonctionnement avant l'évènement) ;
- fonctionnement de l'embrayage ;

A partir du témoignage des personnes embarquées rapportant l'allumage et l'extinction des voyants ambre « ALTER » et « NAV » en début de battement sans allumage du voyant « PA », puis l'activation du signal sonore survitesse en fin de battement, les plages de variation de régime lors de l'évènement ont pu être estimées ainsi :

- régime minimal supérieur à 40 620 tr/min et inférieur à 42 000 tr/min ;

- régime maximal supérieur à 46 111 tr/min ;
- amplitude de variation de régime supérieure à 4 111 tr/min.

Cette dernière valeur conforte les témoignages des personnes embarquées qui ont eu la sensation d'une amplitude de l'ordre de 5000 tr/min.

2.2.4. Analyse des battements en lacet et détermination de leurs origines

2.2.4.1. Sens et amplitudes des battements en lacet

Le sens des battements en lacet est ressenti à gauche pour les personnes aux places avant, à droite par celles aux places arrières. Le mécanicien navigant en place avant gauche voit très clairement une variation en lacet vers « son côté à gauche » sur les premiers battements. Lors des derniers battements, le PCB voit distinctement le défilement du sol sous le côté droit de l'hélicoptère à l'approche du sol avant l'atterrissage d'urgence. Les informations perçues par les deux personnes aux places avant sont essentiellement visuelles. Les actions au palonnier du PCB pour contrer les battements peuvent avoir contribué aux sensations essentiellement physiologiques perçues par ces deux personnes. Ainsi, le groupe d'enquête retient que le battement angulaire le plus important est orienté de la droite vers la gauche.

Le PCB témoigne qu'il a touché le sol alors qu'il contrait au palonnier un battement de l'aéronef pour le ramener dans l'axe. La trace laissée par le sabot montre que le dernier battement s'est produit à gauche (sabot revenant dans l'axe de la « Gazelle » et laissant ainsi une trace dans la terre de droite à gauche, cf. paragraphe 1.12).

L'amplitude angulaire des battements varie de 30° pour les premiers à 45° pour les derniers. En supposant que le couple moteur à l'apparition des battements soit approximativement constant, l'augmentation de cette amplitude des battements est la conséquence probable de la diminution de l'effet « girouette » : diminution de l'efficacité aérodynamique de la poutre de queue et de sa dérive liée à la réduction de vitesse de 180 vers 120 km/h.

2.2.4.2. Détermination de l'origine des battements en lacet

Avant chaque apparition des battements, la « Gazelle » est dans une position d'équilibre. Lors de l'apparition des premiers battements le PCB n'a aucune action particulière aux commandes en particulier au niveau du PG et du palonnier. L'apparition des à-coups en lacet étant périodique, le pilote aux commandes a eu tendance à anticiper le phénomène sur les derniers.

Ces battements sont la résultante d'un déséquilibre périodique des efforts amenant à l'apparition d'un couple de réaction autour de l'axe de lacet. Le couple moteur transmis au rotor principal crée, par réaction au niveau de la cellule, un couple de renversement compensé par le moment de la force aérodynamique généré par le rotor anti-couple (RAC).

Deux scénarii distincts peuvent être à l'origine des battements en lacet :

- évolution de la force aérodynamique du RAC suite à une anomalie de la chaîne de lacet ;
- évolution du couple moteur transmis au rotor principal suite à une anomalie de la chaîne de puissance.

Concernant le premier scénario, l'expérience¹⁴ d'ingénieurs et de pilotes d'essai du constructeur ainsi que de pilotes expérimentés sur « Gazelle » montre qu'une évolution de la force aérodynamique du RAC ne permet pas :

- d'atteindre une variation angulaire minimale de 30° à une V_i proche de 180 km/h ;
- d'expliquer une amplitude de variation de régime GTM aussi importante¹⁵.

Les investigations effectuées sur la chaîne de transmission de puissance¹⁶ n'ont pas révélé d'anomalie.

Le scénario retenu est une variation périodique du couple délivré par le GTM consécutive à une variation périodique de régime de ce dernier. A chaque variation, une diminution moins rapide du régime GTM que son augmentation peut avoir généré un couple plus important et amené le battement à gauche.

2.2.5. Conclusion de l'analyse du vol

Ainsi les battements en lacet sont la conséquence d'une évolution du couple moteur transmis au rotor principal suite à une variation périodique du régime du GTM. L'hypothèse d'une anomalie de la chaîne de lacet générant ces battements a été rejetée.

Les variations de régime se sont produites toutes les 3 secondes environ avec les caractéristiques suivantes :

- le régime minimal est supérieur à 40 620 tr/min et inférieur à 42 000 tr/min ;
- le régime maximal est supérieur à 46 111 tr/min ;
- l'amplitude de la variation de régime est supérieure à 4 111 tr/min.

A chaque augmentation du régime moteur, l'augmentation du couple moteur a généré le battement à gauche de l'appareil.

L'augmentation de l'amplitude des battements en lacet (de 30° à 45°) est la probable conséquence de la diminution de l'effet « girouette » lié à la réduction de la vitesse de l'appareil passant de 180 km/h à 120 km/h.

¹⁴ Il n'existe pas de documentation technique ou de rapport d'essai d'Eurocopter le démontrant.

¹⁵ Le passage au banc d'essai du GTM a démontré un comportement normal de la phase de régulation « à-coup en lacet ».

¹⁶ Tout particulièrement au niveau de l'ensemble « embrayage roue libre ».

2.3. Recherche des causes des variations de régime du GTM

Le BEAD-air a demandé à Turboméca de mener une analyse causale de la variation périodique de régime de 4200 tr/min de l'Astazou XIV M¹⁷. L'analyse de Turboméca a été effectuée en intégrant les anomalies détectées lors des expertises mais n'a pas permis de déterminer un scénario précis d'apparition du phénomène périodique. Cependant deux scénarii ont été retenues par le BEAD-air.

2.3.1. Dysfonctionnement du régulateur consécutif à une pollution particulaire

Le démontage du régulateur a montré la présence de particules à divers endroits internes au régulateur ainsi que la présence de nombreuses rayures et endommagements associés à la présence de ces particules. L'analyse de l'historique du régulateur a montré qu'une partie de ces rayures est apparue dans les dernières heures de fonctionnement.

Au moment de l'apparition de la première variation de régime, l'hélicoptère est en accélération vers sa vitesse de croisière, PG en 1ère butée sans évolution. La demande de puissance est donc en augmentation et la régulation de l'Astazou XIV M maintient le régime réglé à environ 43000 tr/mn. Les mécanismes internes au régulateur sont donc en déplacement. L'un d'eux aurait ainsi pu être perturbé dans son fonctionnement pouvant générer un dysfonctionnement du régulateur amenant à une évolution du débit de l'ordre de 15 l/h. La périodicité du phénomène peut difficilement être expliquée, le régulateur étant un système hydromécanique complexe.

Le BEAD-air a effectué une analyse de l'historique des faits techniques sur « Gazelle » SA342 et a ainsi pu cibler des matériels ayant vécu un événement similaire et ayant été envoyés en expertise. Une synthèse de rapports d'expertises effectuées par Turboméca figure en annexe 4 comportant quatre cas.

Dans le cas n° 1, le régulateur n° 346B est probablement à l'origine de l'événement rapporté. Le piston isodrome présente des rayures qui pourraient avoir été faites par des particules qui auraient gêné momentanément son déplacement dans son logement.

Dans le cas n° 2, l'origine de l'événement n'a pas été déterminée. Des rayures superficielles de fonctionnement ont été constatées sur certains composants mais ne permettent pas d'expliquer l'événement.

Les expertises des matériels (GTM's et régulateurs) des cas n° 3 et n° 4 seront prochainement réalisées par Turboméca.

Ainsi l'analyse de deux événements similaires montre la présence de particules présentes dans le régulateur conduisant à des blocages dans les déplacements de mécanismes.

¹⁷ Dans le cas d'un fonctionnement normal de la régulation, une variation de 4200 tr/min correspond à une variation de 15 l/h du débit carburant pour un débit maximal d'environ 240 l/h.

2.3.2. Dysfonctionnement du régulateur consécutif à un mode vibratoire particulier

L'historique de la « Gazelle » n° 3965 comporte quelques anomalies¹⁸ signalées par les pilotes (cf. annexe 6) et suite à cet incident, l'ALAT a ciblé deux « Gazelle » (n° 3617 et n° 4049) présentant un historique similaire. Un relevé vibratoire a été demandé à Turboméca par détachement de spécialistes. Le 19 août 2010, la « Gazelle » n° 4136 a présenté des symptômes très similaires à la « Gazelle » n° 3965. Turboméca a de nouveau effectué un relevé vibratoire de cette « Gazelle ».

Les résultats de ces mesures vibratoires effectuées au niveau du GTM font l'objet du retour d'expérience n° 3 de l'annexe 5. Un mode vibratoire particulier à 4 Hz au sol a ainsi été détecté sur les trois « Gazelle ».

Aucun relevé vibratoire n'a pu être envisagé sur la « Gazelle » n° 3965. Cependant l'analyse de l'historique de l'aéronef (cf. annexe 6) montre des indications de vibrations au niveau cellule ressenties par le pilote 3,3 heures de fonctionnement avant l'événement amenant au changement du régulateur. Le relevé vibratoire du GTM effectué lors du vol technique ne révèle aucune anomalie.

Ainsi, par analogie aux trois « Gazelle » présentant un mode vibratoire à 4 Hz, l'hypothèse d'un mode vibratoire particulier de la « Gazelle » n° 3965 générant une anomalie de fonctionnement en vol du GTM est possible. Un scénario envisagé est la possibilité qu'un mode vibratoire particulier appliqué à certains régulateurs amène, en vol, à la mise en résonance de l'un des mécanismes internes avec comme conséquence un déplacement périodique du doseur du régulateur générant une variation de débit et de régime. L'analyse causale de Turboméca ne permet pas de valider définitivement ce scénario.

Le BEAD-air a effectué une analyse de l'historique des faits techniques sur « Gazelle » SA342 et a ainsi pu cibler des « Gazelle » comportant un mode vibratoire particulier (cf. annexe 5).

Tout d'abord, un phénomène vibratoire a été rencontré au moment de la réception par le CEV sur des « Gazelle » :

- SA 342 en 1986-87 ;
- SA 342 M1 (Viviane) à la fin des années 80.

Ce point fait l'objet du retour d'expérience n° 1 de l'annexe 5. Le phénomène vibratoire rencontré était de la résonance sol à 3,2 Hz et ne comporte probablement aucun lien avec le retour d'expérience n° 3.

¹⁸ Anomalies au niveau des commandes de vol associées ou non à des vibrations de la cellule et l'allumage du voyant « ALARM ».

Le retour d'expérience n° 2 représente le cas de la « Gazelle » SA342 n° 4108 qui comportait des symptômes similaires à la « Gazelle » n° 3965. L'appareil a été déclaré indisponible et de nombreuses investigations ont été réalisées. Un phénomène vibratoire se situant à 4,5 Hz a pu être déterminé. Ces mesures vibratoires ont été effectuées au niveau de la cellule alors que celles du retour d'expérience n° 3 l'ont été au niveau du GTM. Il est donc difficile d'établir un lien entre ces deux mesures vibratoires .

Dans tous ces cas recensés, les causes du mode vibratoire particulier pouvant amener à une anomalie de fonctionnement du GTM n'ont pas pu être déterminées avec précision (cf. annexe 5). De plus, du fait de l'amortissement généré par le contact des patins avec le sol, un mode vibratoire au sol est différent de celui rencontré en vol.

2.3.3. Evolutions du plan de maintenance et du standard de la « Gazelle »

Le nombre d'événements, qui font état d'une variation significative du régime GTM accompagnée de battements en lacet de haute amplitude, semble en augmentation sur les 18 derniers mois. Cependant, l'analyse des évolutions du standard et du plan de maintenance de la «Gazelle» de ces dernières années n'a pas permis de dégager une quelconque explication au phénomène rencontré.

2.3.4. Analyse de l'allumage du voyant « ALARM » et de l'indication du radioaltimètre

L'allumage du voyant « ALARM » rouge est constaté dès le 1^{er} battement et le PCB ne le verra jamais éteint pendant toute le reste du vol.

Le voyant rouge « ALARM » s'allume sur la planche de bord lorsque :

- la manette de débit n'occupe pas la position « plein ouvert » ;
- le doseur du régulateur atteint sa position de pleine ouverture de débit ;
- la vanne de décharge est ouverte.

L'analyse de l'allumage du voyant « ALARM » effectuée par le groupe d'enquête n'a pas permis d'apporter d'élément significatif sur les causes de l'événement.

Le BEAD-air retient deux scénarii concernant l'allumage du voyant « ALARM » sans pouvoir en privilégier un en particulier :

- le régulateur présente un dysfonctionnement provoquant le déplacement périodique du doseur, et à chaque fois que le doseur atteint sa position « pleine ouverture » le voyant s'allume selon la même période. Le PCB ne constate pas l'extinction du voyant lorsque le doseur quitte sa position de pleine ouverture ;
- à la suite d'un réglage hors tolérance du mini rupteur « cran vol », un effort trop important sur l'ensemble de la commande consécutif aux battements en lacet, aurait pu amener à l'allumage du voyant.

L'aiguille du radioaltimètre indique 102 mètres. Le couplage/conjonction du contacteur de ligne associé à l'alternateur se produit à une vitesse du moteur de 41300 ± 600 tr/mn pour un régime moteur régulé de 43000 ± 200 tr/mn. L'arrêt de l'alimentation du courant alternatif fige l'aiguille du radioaltimètre dans sa position. L'analyse de l'indication du radioaltimètre dans le cadre de variations importantes et périodiques du régime moteur est complexe et elle n'a pas permis définir d'élément significatif sur la définition des causes de l'événement.

2.3.5. Conclusion sur la recherche des causes des variations de régime du GTM

L'hypothèse selon laquelle la présence de particules dans le régulateur est à l'origine des variations périodiques de régime est possible. Cependant l'analyse causale de Turboméca ne permet pas de conclure définitivement. L'analyse d'événements similaires montre que l'anomalie a pu être reproduite malgré plusieurs changements de régulateur. Ce dernier point diminue la probabilité que les particules soient à l'origine de l'événement de la « Gazelle » n° 3965 sans toutefois rejeter l'hypothèse. La présence des particules est consécutive à des opérations de nettoyage inefficaces chez l'industriel 3,3 heures de fonctionnement avant l'événement.

L'hypothèse selon laquelle un mode vibratoire particulier de la « Gazelle » n° 3965 a pu générer une anomalie de fonctionnement du GTM¹⁹ en vol à l'origine des variations périodiques de régime est également possible.

Ainsi, les causes de l'événement n'ont pas pu être définies avec certitude mais sont soit liées à la présence de particules dans le régulateur soit liées à un mode vibratoire particulier de la « Gazelle » générant une anomalie de fonctionnement du GTM en vol.

Des événements similaires montrent que le déplacement de la manette de débit amène à la disparition du phénomène de battement.

L'action sur la manette de débit permet :

- d'agir sur le fonctionnement du régulateur et de supprimer certaines anomalies de régulation consécutives à la présence de particules ;
- de diminuer le régime du GTM amenant probablement à une modification d'un possible régime vibratoire générant l'anomalie de fonctionnement du GTM.

¹⁹ Par exemple, par résonance d'un mécanisme interne au régulateur.

2.4. Analyse de la gestion de l'événement par l'équipage

Le pilote en place droite est commandant de bord, pilote en fonction. Il est dans une stratégie de vol mono-pilote avec un mécanicien navigant en place gauche pouvant aider, sur demande, à l'affichage de fréquence radio ou à la navigation en VFR²⁰. Les trois militaires enregistrés comme membre d'équipage (ME) sur le cahier d'ordre n'ont pas de fonction à bord durant ce vol. Leurs fonctions sont liées à la mission comprenant la livraison de l'appareil objet de l'événement et la réception d'un autre appareil chez l'industriel.

2.4.1. Analyse des actions du PCB

La procédure d'urgence associée au battement est présente dans le manuel de l'équipage (cf. annexe 2). Ce paragraphe est inclus dans le chapitre concernant le fonctionnement anormal du régulateur du GTM. Dans les cas de variations importantes et rapides de la vitesse de rotation, il est préconisé de mettre le régulateur hors circuit immédiatement en déplaçant la manette de débit pour obtenir une diminution du régime d'environ 500 tr/min.

Les symptômes constatés lors de l'événement auraient dû amener à l'application de cette procédure qui n'a pas été envisagée par le PCB. Au 3^{ème} battement, le pilote décide d'effectuer une autorotation sans action sur la manette de débit.

Le lendemain de l'événement, le témoignage du PCB montre qu'à la vue des symptômes identifiés (battement en lacet associé à des variations importantes et rapides de régime), la procédure à appliquer n'est pas clairement identifiée.

Ainsi, l'hypothèse d'un défaut de connaissance associée à une erreur de représentation de la situation est retenue par le groupe d'enquête technique.

2.4.2. Conditions de survenue des erreurs

2.4.2.1. Gestion des ressources mentales

Le pilote, très expérimenté sur « Gazelle », n'a jamais été confronté à de tels symptômes. L'analyse des actions du PCB montre qu'il mobilise une partie importante de ses ressources mentales pour le pilotage²¹ de l'appareil et à la gestion de la trajectoire d'atterrissage d'urgence en campagne²². Il témoigne que la perte de contrôle de l'appareil a été envisagée, ce qui représente un risque critique²³. Limité au niveau des ressources mentales disponibles nécessaires à l'analyse complexe du phénomène, le PCB décide un plan d'action permettant de se libérer de la contrainte en envisageant une autorotation en campagne. L'allumage perçu continu du voyant « ALARM », représentatif d'une panne importante du GTM, le conforte dans sa décision initiale d'effectuer cette autorotation.

²⁰ Rare dans l'ALAT où l'équipage d'une « Gazelle » est généralement constitué de deux pilotes, la configuration mono-pilote est communément rencontrée lors des missions du 11^{ème} BSMAT.

²¹ Durant la trentaine de secondes, par actions d'anticipation et de réaction (aux palonniers pour contrer les battements en lacet et au PG pour contrer les variations de régime moteur).

²² Détermination de l'aire de posé d'urgence et de la trajectoire associée par rapport aux obstacles.

²³ L'ensemble des personnels embarqués est conscient d'une situation critique.

2.4.2.2. Entraînement des pilotes VT

L'analyse de l'entraînement à l'application de la procédure associée aux battements montre que :

- l'entraînement consiste en une simulation de battements en lacet par action sur les palonniers par l'instructeur peu représentative des symptômes vécus par le PCB²⁴. Les symptômes rencontrés par le PCB sont éloignés de la représentation mentale qu'il a du phénomène de battement ;
- consécutivement à cette simulation, le pilote effectue une réponse orale en précisant ce qu'il ferait dans un cas réel sans action effective sur la manette de débit.

De plus, l'entraînement aux pannes pratiqué par un pilote VT à Montauban²⁵ est plus limité que celui d'un pilote en régiment et comporte en particulier moins de simulations de battements²⁶. Pourtant, les pilotes VT effectuent la réception d'appareils sortant de maintenance et potentiellement sujets à un taux de pannes relativement plus important.

Enfin, de nombreux témoignages de pilotes montrent que la procédure peut être sujette à interprétation. En effet, certains d'entre eux n'envisagent pas l'action sur la manette de débit dans le cas d'une configuration mono-pilote.

2.4.2.3. Travail en équipage

Le travail en équipage en situation d'urgence permet de diminuer la charge de travail, de diminuer le stress d'une personne par apport de solutions et d'augmenter ainsi la performance. Dans les cas de vol de « Gazelle » effectués en régiment, l'équipage est la plupart du temps composé de deux pilotes. Dans le cadre d'un événement similaire :

- le pilote aux commandes en place droite se concentre sur le pilotage à l'image du PCB de la « Gazelle » n° 3965 ;
- le commandant de bord en place gauche agit sur la manette de débit au deuxième battement arrêtant ainsi le phénomène.

Dans le cas présent, l'action sur la manette de débit n'a pas été envisagée par le mécanicien navigant en place avant gauche. Il n'est pas entraîné à cette action sur « Gazelle ». L'équipage est en configuration « mono-pilote », le PCB n'ayant pas effectué de briefing quant aux actions possibles du mécanicien lors d'une panne.

²⁴ Battements en lacet de 5° à 10° sans variation notable de régime par rapport à des battements en lacet de l'ordre de 45° et des variations de régime de l'ordre de 5000 tr/min.

²⁵ Le PCB est affecté au 11^{ème} BSMAT depuis 10 ans.

²⁶ L'essentiel des vols se faisant sur des heures de potentiels restant limitées d'aéronefs avant livraison, les exercices de panne se concentrent sur celles estimées plus conséquentes amenant à une autorotation.

La procédure d'urgence associée au battement ne précise pas la personne actionnant la manette de débit pour mettre le régulateur hors circuit.

La notion de « personne qualifiée » apparaît cependant dans la procédure « vol avec régulateur hors circuit »²⁷. Deux cas sont envisagés : pilote seul à bord ou équipage composé de deux personnes qualifiées.

Dans le premier cas, le pilote seul à bord, après avoir passé le PG en plein petit pas, réduit la manette de débit et atterrit en autorotation.

Dans le deuxième cas, le pilote effectue une approche plate suivi d'un atterrissage glissé (main gauche sur manche collectif et main droite sur manche cyclique) et la deuxième personne qualifiée pilote le régime à la manette de débit.

De nombreux témoignages de pilotes et de mécaniciens navigants montrent une indétermination de la signification de « personne qualifiée ». Cette notion a été intégrée par le constructeur dans le manuel de l'équipage mais n'a pas été clairement définie par l'organisme utilisateur de l'appareil.

Ainsi, la procédure d'urgence associée au battement manque de précision quant au possible rôle d'un mécanicien navigant contrôleur sur « Gazelle » en place gauche.

2.4.3. Conclusion sur la gestion de la panne par l'équipage

L'absence d'application d'une procédure qui aurait probablement permis de résoudre la panne est consécutive à un défaut de connaissance associée à une erreur de représentation de la situation du PCB.

L'importance du phénomène rencontré amène à une limitation des ressources mentales disponibles nécessaires à une analyse complexe. Le PCB décide un plan d'action inadapté à la situation.

Le déficit d'entraînement à cette procédure peut ne pas l'avoir préparé au choix du plan d'action adéquat.

Un travail en équipage aurait permis d'augmenter la performance du PCB. Or, la procédure d'urgence ne définit pas clairement le rôle d'un mécanicien navigant contrôleur sur « Gazelle » en place gauche.

Enfin, l'interprétation de la notion de « personne qualifiée » citée dans la procédure d'urgence peut avoir contribué à l'inaction du mécanicien navigant.

²⁷ Une fois la manette de débit décrantée, la croisière est possible en affichant 42 500 tr/min environ et un pas de l'ordre de 12°.

3. CONCLUSION

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

Les dégradations constatées sur l'appareil sont consécutives à l'atterrissage d'urgence selon un scénario qui a pu être déterminé.

Les expertises ont révélé la présence de nombreuses particules à divers endroits internes au régulateur ainsi que la présence de nombreuses rayures et endommagements associés à la présence de ces particules. L'opération de nettoyage des circuits internes au corps principal du régulateur effectuée chez l'industriel 3,3 heures de fonctionnement avant l'événement n'a pas permis de le dépolluer. Les particules d'origine externe au régulateur ont pu s'introduire avant ou après cette opération de nettoyage prévu en phase finale de maintenance.

Les battements à gauche en lacet sont la conséquence d'une augmentation du couple moteur transmis au rotor principal suite à une augmentation périodique du régime du GTM. L'amplitude des variations de régime est supérieure à 4 111 tr/min et se sont produites toutes les 3 secondes environ.

L'augmentation de l'amplitude des battements en lacet (de 30° à 45°) est la probable conséquence de la diminution de l'effet « girouette » lié à la réduction de vitesse de l'appareil allant de 180 à 120 km/h.

Face aux symptômes rencontrés, le pilote a décidé d'effectuer une autorotation sans envisager d'action sur la manette de débit telle que la procédure le prévoit.

3.2. Causes de l'événement

L'atterrissage d'urgence en campagne est consécutif à la décision du PCB confronté à une panne qui aurait probablement été résolue par l'application de la procédure correspondante.

Les causes de la survenue des battements en lacet n'ont pas pu être définies avec certitude mais sont, soit liées à la présence de particules dans le régulateur, soit liées à un mode vibratoire particulier de la « Gazelle » générant une anomalie de fonctionnement du GTM en vol par variation périodique du régime moteur. Il est probable que le déplacement de la manette de débit aurait permis de stopper les variations de régime du GTM.

L'absence d'application de la procédure d'urgence associée au battement est la probable conséquence d'un défaut de connaissance associée à une erreur de représentation de la situation par le PCB. Un déficit d'entraînement à l'application de cette procédure, une documentation objet d'interprétations et un manque de précision quant au rôle d'un mécanicien navigant contrôleur sur « Gazelle » en place avant gauche dans un contexte de risque avéré important ont probablement contribué à la survenue des erreurs du PCB.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

4.1.1. Processus de maintenance au NTI3

L'expertise du régulateur a montré que des particules y étaient présentes avant son montage sur l'hélicoptère. Elles se trouvaient dans une zone du régulateur où le risque de dysfonctionnement des mécanismes internes est important.

La présence des particules est consécutive à des opérations de nettoyage inefficaces chez l'industriel 3,3 heures de fonctionnement avant l'événement. L'origine des particules est soit interne au régulateur suite à l'usinage de son carter soit externe suite à une pollution issue du processus général de maintenance chez l'industriel. Ce problème est récurrent depuis de nombreuses années et les modifications du processus industriel n'ont pas été efficaces.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à la DGA²⁸, de mener une revue du processus de maintenance des régulateurs Astazou XIV M chez l'industriel afin de résoudre le problème de pollution particulaire en :

- déterminant l'origine des particules retrouvées lors des démontages de régulateurs ;**
- fiabilisant l'opération de nettoyage²⁹.**

4.1.2. Investigations sur le mode vibratoire particulier de la « Gazelle » SA 342

L'hypothèse selon laquelle un mode vibratoire particulier de la « Gazelle » n° 3965 a pu générer une anomalie de fonctionnement en vol du GTM à l'origine des variations périodiques de régime est possible. L'historique des faits techniques de la « Gazelle » SA 342 comporte des anomalies d'ordre vibratoire. Les investigations nécessaires pour confirmer cette hypothèse sont nombreuses et complexes et sortent donc du cadre de l'enquête technique.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à la DGA en relation avec les industriels Eurocopter et Turboméca de définir un plan d'action permettant d'analyser le mode vibratoire particulier de certaines « Gazelle » SA 342 en vue d'en déterminer les causes et les conséquences.

²⁸ Parmi différentes entités opérationnelles de la DGA, le service central de la modernisation et de la qualité (SMQ) a pour rôle de s'assurer de la qualité des équipements de défense.

²⁹ Le nettoyage est effectué en projetant un fluide sous pression dans les différents orifices du carter régulateur. Le fait de ne pas obstruer certains des orifices du carter ne permet probablement pas de forcer le passage du fluide dans certaines canalisations restant ainsi potentiellement polluées.

4.1.3. Procédure d'urgence en cas de battement en lacet en vol

Un déficit d'entraînement à l'application de cette procédure, une documentation objet d'interprétations et un manque de précision quant au rôle d'un mécanicien navigant contrôleur sur « Gazelle » en place avant gauche dans un contexte de risque avéré important ont probablement contribué à la survenue des erreurs du PCB.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

A l'ALAT :

- **de mettre en œuvre un large retour d'expérience sur cet événement vers les équipages et de les sensibiliser aux conséquences de l'inaction sur la manette de débit lors de symptômes de battement en lacet ;**
- **de définir la répartition des tâches au sein d'un équipage dans le cadre de la procédure « fonctionnement anormal du régulateur du GTM » ;**
- **de définir les termes « personne qualifiée » ;**
- **d'insister, lors de la formation et de l'entraînement du pilote aux commandes, sur la gestuelle associée à la procédure à appliquer en cas de battements dans une configuration mono-pilote.**

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

4.2.1. Gestion des faits techniques amenant à une expertise chez l'industriel

L'analyse de la gestion de faits techniques amenant à l'expertise de matériels réalisée par l'industriel demandée et financée par l'Etat montre que :

- les investigations sur GTM ou régulateurs commencent pratiquement toujours par un passage au banc ce qui présente le risque de voir disparaître les causes de l'anomalie ;
- lorsque les anomalies ne sont pas confirmées au banc d'essais, ces matériels sont souvent reversés dans le circuit réparation sans autre investigation ;
- lorsque le démontage d'un régulateur est effectué et qu'il est constaté des rayures de mécanismes internes, la recherche de l'origine de ces dégradations n'est pas effectuée ;
- les résultats des expertises ne font pas l'objet de synthèse permettant de définir des plans d'action amenant à réduire les anomalies rencontrées par l'utilisateur ALAT ;
- l'utilisateur ALAT est rarement et tardivement informé des résultats d'expertise.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

à la DGA et à la SIMMAD, en relation avec l'industriel Turboméca et l'ALAT d'améliorer le traitement des faits techniques concernant l'Astazou XIV M et leur exploitation.

4.2.2. Enregistreurs

L'hélicoptère « Gazelle » de l'ALAT n'est pas équipé d'enregistreur. La réglementation n'impose pas aux aéronefs de la défense, n'effectuant pas de transport public de passager, d'en être dotés. Différents types d'enregistreurs sont envisageables : enregistreur de paramètres (FDR), enregistreur phonique du cockpit (CVR), enregistreur de maintenance ou système de surveillance vidéo de tableau de bord (IPVMS).

Cependant, au-delà des aspects purement réglementaires, un équipement de ce type comporte de nombreux avantages. Dans le cadre de l'incident de la « Gazelle » n°3965, un enregistreur aurait permis d'améliorer la compréhension de l'événement.

L'ALAT a répondu à une précédente recommandation³⁰ du BEAD-air et envisage d'équiper ses aéronefs d'enregistreurs selon un plan prévisionnel (équipement des « Gazelle » entre 2012 et 2015). La décision est en cours d'étude et dépend de l'avis de l'EMA et de la DGA.

³⁰ Lettre n° 000045/DEF/EMAT/ES/B.EMP/ES12/DR du 12/01/11 faisant suite au rapport d'enquête technique T-2009-002-A relatif à l'accident aérien survenu le 17 janvier 2009 à un hélicoptère de type « Cougar » de l'armée de terre en eaux internationales, dans le golfe de Guinée, à 12,8 Nm des côtes gabonaises.

ANNEXES

ANNEXE 1 Principaux résultats d'expertise	36
ANNEXE 2 Procédures d'urgence associées à l'événement.....	40
ANNEXE 3 Incidents et pannes associés à l'événement	41
ANNEXE 4 Résultats d'expertises de matériels ayant vécu un événement similaire.....	42
ANNEXE 5 Retour d'expérience de « Gazelle » comportant un mode vibratoire particulier	47
ANNEXE 6 Historique de la « Gazelle » SA 342 M n° 3965 dans les derniers mois	49

ANNEXE 1

Principaux résultats d'expertise

Annexe 1.1 : expertise du GTM Astazou XIV M n°8261/7218 et du régulateur n° 357B

Les investigations sur le GTM et son régulateur ont été effectuées par Turboméca sur le site de Tarnos.

Essai au banc du GTM et de son régulateur

Le passage au banc d'essai n'a pas révélé d'anomalie. En particulier, la phase d'essai correspondant aux « à-coups en lacet » est dans les tolérances. Le niveau vibratoire du GTM est conforme aux spécifications techniques.

Essai au banc du régulateur

Le passage au banc d'essai du régulateur seul n'a pas présenté d'anomalie à l'exception de particules recueillies au niveau du filtre du banc en sortie du régulateur.

Le contrôle du boîtier des minirupteurs permet de constater des réglages hors tolérance :

- butée manette fermée : 16° pour $10^\circ \pm 1^\circ$;
- butée cran vol : 90° pour $87^\circ \pm 1^\circ$;
- commande de la vanne de décharge : 73° pour $70^\circ \pm 2^\circ$.

Test fonctionnel de la vanne de décharge

Le test fonctionnel et les examens n'ont pas révélé d'anomalie.

Démontage du GTM (structure)

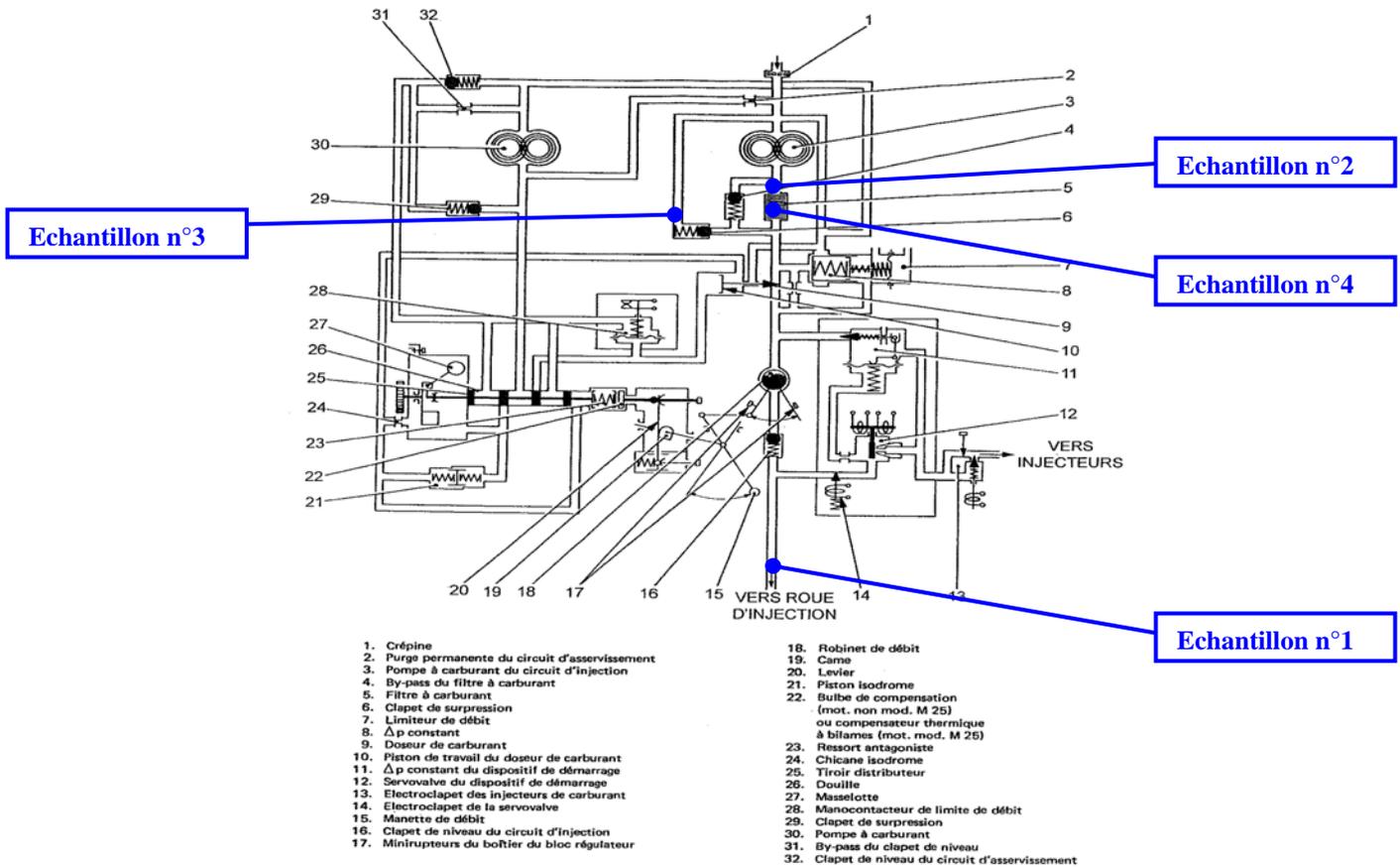
Le démontage du GTM n'a pas révélé d'anomalie à l'exception :

- au niveau de la chambre de combustion, d'une crique au niveau de la tôle de turbulence arrière et de la présence de dépôt noirâtre de type calamine au niveau de la roue d'injection (anomalies initialement détectées par endoscopie) ;
- d'une fuite d'huile d'un joint *seal*oil.

Démontage du régulateur

Le démontage du régulateur permet de constater la présence de nombreuses particules et pièces présentant des rayures sur les zones de fonctionnement.

DIFFUSION RESTREINTE



Localisation des particules dans le régulateur

Examen technique des particules recueillies et des pièces rayées du régulateur

Les examens techniques des particules recueillies et des pièces rayées du régulateur par DGA/EP. La liste des particules examinées est la suivante :

- échantillon 1 : 3 particules prélevées sur le filtre du banc d'essai placé en sortie du régulateur ;
- échantillon 2 : 1 particule prélevée dans la chambre amont du filtre du régulateur ;
- échantillon 3 : 1 particule prélevée sur le clapet de surpression côté basse pression ;
- échantillon 4 : nombreuses particules contenues dans le filtre du régulateur.

Synthèse des résultats des examens des particules			
Désignation	Dimensions approximatives		Nature chimique
Echantillon 1	Particule 1	≈ 500 µm x 100 µm	Constituée exclusivement d'argent.
	Particule 2	≈ 300 µm x 100 µm	Constituées d'aluminium majoritairement. La présence de silicium pourrait indiquer qu'il s'agit d'un alliage de la série 4000 (Aluminium-Silicium). Cependant le silicium étant un élément que l'on retrouve dans les poussières, sa présence peut être due à une "simple" pollution de la particule analysée.
	Particule 3	250 µm sur 90 µm	
Echantillon 2	2 particules (organiques de coloration rouge)	/	Il pourrait s'agir : - soit de polyuréthane (matériau que l'on retrouve essentiellement dans les peintures) pollué par l'adhésif de l'échantillonnage ; - soit d'adhésif lui-même.
Echantillon 3	Particule 1	3,7 x 0,2 mm	Constituée d'aluminium majoritairement.
	Particule 2	2 x 0,04 mm	La présence de cuivre pourrait indiquer qu'il s'agit d'un alliage de la série 2000 (Aluminium-Cuivre).
Echantillon 4	Particule 1	530 µm x 161 µm	Particule d'argent.
	Particule 2	240 µm x 140 µm	Particule à base de cuivre et de zinc.
	Particule 3	40 µm x 60 µm	Particule à base d'aluminium.
	Particule 4 (copeau)	120 µm x 47 µm	Particule à base d'acier contenant 3% Ni.
	Particule 5	279 µm x 110 µm	Particules d'acier inoxydable (Fer, 25% Nickel, 15% Chrome).
	Particule 6		Amas s'apparentant à une particule à base de silicium.

La liste des pièces du régulateur examinées suite à constatations de rayures est la suivante :

- 2 flasques ;
- 2 pignons ;
- clapet de surpression de la pompe à carburant du circuit d'injection ;
- tiroir et son distributeur.

Ces pièces présentent diverses rayures de formes différentes. Les analyses en fond de certaines rayures mettent en évidence la présence de particules ou de matières dont la composition diffère du matériau de la pièce examinée.

Annexe 1.2 : analyses des fluides prélevés dans le cadre de l'enquête technique

Les analyses effectuées par DGA/EP de carburant (prélevé sur l'épave et dans la cuve d'avitaillement), d'huile du GTM et de fluide hydraulique (prélevé sur l'appareil au niveau de la BTP, BTI et BTA) n'ont pas révélé d'anomalie.

Annexe 1.3 : examen technique du calculateur du PA de la « Gazelle » n°3965

L'examen technique du calculateur PA a été réalisé par la 11^{ème} BSMAT. Un test fonctionnel a été effectué au banc d'essai Diadème et n'a pas révélé d'anomalie en particulier au niveau de l'asservissement de la chaîne de lacet. L'inspection des cartes électroniques n'a pas révélé aucun dommage mécanique (composant cassé ou dégradé), ni même de dommage de type électrique (dégagement de chaleur, composant brûlé ou surchauffé).

Annexe 1.4 : examen technique du mini-contacteur badin de la « Gazelle » n°3965

DIFFUSION RESTREINTE

Rapport d'enquête technique

L'examen technique du mini-contacteur badin a été réalisé par la 11^{ème} BSMAT. Les résultats montrent des non-conformités par rapport aux critères de la carte de travail n° 70-20-607 avec une valeur de déclenchement erratique se situant aux alentours de 150 km/h au lieu de 90 km/h (et une résistivité de 170 ohms).

ANNEXE 2

Procédures d'urgence associées à l'événement

Extrait de la section « 4.1 PROCEDURES D'URGENCE » du manuel de l'équipage MAT/8711.

2.3 Fonctionnement anormal du régulateur du GTM

2.3.1 Battements

Ils se manifestent par des variations de la vitesse de rotation.

- Pour des variations peu importantes : perdre de l'altitude.

Si le phénomène subsiste :

Mettre le régulateur hors circuit en déplaçant la manette de débit pour obtenir une perte de tour d'environ 500 tr/min (le voyant « ALARM » et éventuellement « RLT » est (sont) allumé(s).

Nota : les manœuvres de pas doivent être douces.

- Pour les variations importantes et rapides : mettre le régulateur hors circuit immédiatement. Comme indiqué ci-dessus.

2.3.2 Vol avec régulateur hors circuit

1/ Croisière

Effectuer la croisière en affichant 42 500 tr/min environ par la manette de débit et un pas de l'ordre de 12°.

2/ Atterrissage avec le régulateur hors circuit

Deux cas peuvent être envisagés :

a. Pilote seul à bord

Dans ce cas :

- choisir un terrain approprié,
- passer plein petit pas,
- réduire la manette de débit,
- atterrir en autorotation.

b. Equipage composé de 2 personnes qualifiées

Dans ce cas :

- choisir un terrain approprié,
- effectuer une approche plate en pilotant le régime à la manette de débit,
- effectuer un atterrissage glissé, sans variation importante de pas, avec l'aide du GTM.

Dans les deux cas, ne pas tenter de redécoller.

...

ANNEXE 3

Incidents et pannes associés à l'événement

Extrait de la section « 4.2 INCIDENTS ET PANNES » du manuel de l'équipage MAT/8711.

INCIDENTS ET PANNES SIGNALES AU TABLEAU D'ALARME

ALLUMAGE DU PAVE	PANNE OU INCIDENT	ACTION PILOTE
...
ALTER	Panne d'alimentation de l'ensemble du réseau en courant alternatif. Nota : les pavés « NAV » et « PA » s'allument conjointement. (voir aussi voyant « ALARM »)	- Vérifier la position de l'interrupteur. - Tenter un réarmement. - Continuer le vol ou se poser en fonction des circonstances. - Isoler l'alternateur.
...
NAV	Panne d'alimentation du réseau alternatif 26V/400 Hz. (voir aussi voyant « ALARM »)	- continuer le vol ou se poser en fonction des circonstances.
...
ALARM En dehors d'une demande rapide de puissance.	Si le régime G.T.M est supérieur au régime réglé : Panne par plein ouverture du doseur du régulateur.	AUGMENTER SI POSSIBLE LE PAS GENERAL DE MANIERE A LIMITER LA SURVITESSE. METTRE LE REGULATEUR HORS CIRCUIT (VOIR SECTION 4.1 § 2.3.2)
	Si le régime G.T.M est inférieur au régime réglé : - manette de débit en position intermédiaire ou - panne du limiteur de débit.	- REDUIRE LA PAS GENERAL JUSQU'A L'EXTINCTION DU VOYANT - VERIFIER QUE LA MANETTE DE DEBIT EST EN POSITION PEINE OUVERTURE Si elle y est : . REJOINDRE LE TERRAIN LE PLUS PROCHE . ATTERRIR EN AGISSANT DOUCEMENT SUR LE PAS GENERAL ET LE PALONNIER
	Si le régime G.T.M est égal au régime réglé : - manette de débit en position intermédiaire ou - vanne de décharge ouverte.	- VERIFIER QUE LA MANETTE DE DEBIT EST EN POSITION PLEINE OUVERTURE Si elle y est : LA PUISSANCE DISPONIBLE EST PLUS FAIBLE ET LA CONSOMMATION AUGMENTE

ANNEXE 4**Résultats d'expertises de matériels ayant subi un événement similaire**

**Cas n° 1 : « Gazelle » SA 342 L1 (Mistral) n° 4222.
Événement du 02 juillet 2009. GTM n°8028. Régulateur n°346B.**

Événement

En vol stationnaire stabilisé, le pilote constate l'enfoncement de l'appareil suivi d'un violent à-coup en lacet. L'alarme survitesse retentit accompagnée de l'allumage du voyant "ALARM". Le régime moteur a chuté jusqu'à 41 000 tr/min pour un régime régulé de 43 100 tr/min. Un atterrissage glissé est réalisé sans autre incident. La réduction est effectuée au sol par action sur la manette de débit.

Résultats d'expertise

Essais GTM + 346B : essai en mode "simulation" du banc d'essai :

Lors de la réponse en régime transitoire sur augmentation de débit de 120l/h à 190 l/h, le régulateur est instable avec des oscillations importantes, le temps de stabilisation est long (5s pour un critère défini de 3s maxi).

Résultats d'essais complémentaires : suite aux relevés précédents, il a été décidé d'inspecter le piston isodrome : rayures constatées sur le piston.

Après remontage du piston nettoyé et essai sur le banc : la stabilité en régime stabilisé et la réponse en régime transitoire sont conformes => il n'y a plus d'oscillations de N après intervention sur le piston isodrome.

Démontage :

- ensemble masselotte-support : jeu dans l'axe de la masselotte ;
- ensemble douille-tiroir distributeur : rayures profondes, accroches constatées lors des déplacements manuels du tiroir dans la douille ;
- piston isodrome : rayures.

Conclusion Turboméca (rapport T10-CRA0138F-1)

L'expertise réalisée sur le régulateur n°346B a mis en évidence d'importantes instabilités de fonctionnement lors des régimes transitoires. La cause principale de ces instabilités est probablement une accroche du piston isodrome dans son logement. Ces instabilités peuvent avoir été amplifiées par une accroche de l'ensemble tiroir-distributeur et du jeu dans l'axe de la masselotte.

Le piston isodrome et son alésage ne présentent pas de non-conformité dimensionnelle. Le piston isodrome présente des rayures qui pourraient avoir été faites par des particules qui auraient gêné momentanément son déplacement dans son logement. Le fait de démonter et de remonter le piston isodrome lors de l'expertise au banc d'essai aurait dégagé ces particules, permettant à nouveau le libre déplacement du piston isodrome. Le régulateur n°346B est probablement à l'origine de l'événement rapporté.

Cas n°2 : « Gazelle » SA 342 L1 (Mistral) n°4218.

Événement du 16 septembre 2009. GTM n°8266/7223. Régulateur n°658B.

Événement

Variation de 2 000 tr/min accompagnée de violents battements de couple (20 % à 40 %) et à-coups en lacet dans différentes configurations de vol, perte de puissance lors du flare. Ng constatés au sol : 30 à 35 000 tr/min.

Symptômes précédents reproduits avec le régulateur n° 617B.

Résultats d'expertise

8266/7223 + 617B : Test banc d'essais GTM : RAS.

8266/7223 : Démontage :

- selon Turboméca : RAS ;
- selon DGA/SMQ/SQ :
 - encrassement de la roue d'injection ;
 - criques sur la tôle de turbulence.

617B : Démontage :

- le distributeur est rayé ;
- le piston du delta P est rayé ;
- usure de la douille de l'aiguille du doseur.

658B : Test au banc d'essais régulateur : RAS ;

658B : Démontage :

- delta P : le piston est rayé sur la circonférence, quelques rayures superficielles observées au niveau du dosage du débit sur la douille ;
- distributeur d'huile : présence de quelques rayures sur les portées ;
- présence de quelques dépôts noirs dans la chambre du filtre ;
- piston isodrome : présence de quelques rayures superficielles ;
- limiteur de débit côté P0 :
 - piston : présence de dépôt noir en surépaisseur de 8,17 microns ;
 - logement du piston : présence de dépôt noir sur 60° de circonférence de 3,38 microns (jeu de 50 à 95 microns).
- pompe d'asservissement :
 - important dépôt noir sur les flancs des pignons ;
 - pas de constatations particulières sur le bâti et les flasques.
- pompe de pression :
 - pignon menant : présence de dépôt noir et de corrosion sur le flanc côté manchon d'entraînement et sur quelques dents ;
 - pignon mené : présence de quelques dépôts noirs sur les flancs ;
 - bâti pompe et paliers (x2) : présence de quelques dépôts noirs et de quelques points de corrosion.

Conclusion Turboméca

L'essai au banc du GTM avec le régulateur n°617B et le démontage du moteur n'ont pas permis de déterminer l'origine de l'événement. (Rapport T10-CR0528F-2).

Les contrôles effectués lors du démontage du régulateur n°617B n'ont révélé aucune non-conformité susceptible d'expliquer l'événement moteur rapporté (rapport T10-CRA1025F-1).

Les contrôles partiels effectués au banc n'ont mis en évidence aucune non-conformité susceptible d'avoir pu entraîner l'événement moteur rapporté. Les rayures superficielles de fonctionnement constatées sur certains composants et le dépôt noir localisé uniquement sur la pompe ne peuvent expliquer l'événement (rapport T10-CRA0980F-1).

Cas n°3 : « Gazelle » SA 342 L1 (Mistral) n°4233.**Événement du 27 janvier 2010. GTM n°8032/7031. Régulateur n°254B.****Événement**

Au 5ème exercice d'une séance d'autorotation, à 150-170 m de hauteur, 120 km/h, PPP, un à-coup violent à droite est ressenti par l'équipage avec allumage du voyant "ALARM" et variation sonore très importante du régime moteur. Reprenant les commandes le moniteur effectue une légère application de pas produisant des à-coups en lacet, voyant "ALARM" toujours allumé, le régime moteur évalué à 40 000 tr/min. Décidant de mener une autorotation, le moniteur dose les actions au PG pour éviter les à-coups en lacet et pose l'appareil qui glisse sur 60 mètres avec un très léger à-coup en cadence.

Après pose de deux régulateurs (n°30B et 74B), le phénomène d'à-coup en lacet avec variation du régime moteur s'est reproduit lors des stationnaires de sécurité. Aucune autre information n'est disponible (voyant « ALARM », valeurs angulaires des à-coups, de variation de régime...).

Passage au banc de Montauban avec plusieurs démarrages, moteur désaccouplé. Absence de stabilité de régime ne permettant pas d'atteindre le régime nominal. GTM envoyé en expertise chez Turboméca.

Résultats d'expertise

Expertises à venir du GTM n°8032/7031 et des régulateurs 254B, 30B et 74B.

Conclusion Turboméca

A venir.

**Cas n°4 : « Gazelle » SA 342 M1 (Viviane) n°4136. GTM n°8149.
Événement du 19 août 2010 sur lequel le BEAD-air a investigué.****Événement**

La mission de l'équipage consiste en un vol d'entraînement à la navigation de nuit sous JVN en patrouille à trois. Après avoir été leader de la patrouille, la « Gazelle » n° 4136 passe n° 3. Il reste quelques minutes de vol à 10 km de la destination (Phalsbourg). L'équipage ressent une légère variation de régime simultanément à un léger à-coup en lacet puis deux à-coups importants en lacet avant de se poser d'urgence en campagne.

Environnement associé à la première variation en lacet :

Une légère variation de régime ressentie par le PCB confirmé par la sensation d'une très légère variation en lacet ressentie par le pilote aux commandes :

- Vi d'environ 120 km/h.
- hauteur : environ 50 m/sol.
- pas général stable correspondant à un couple de 65%.
- T4 de 370°C stable.
- Ng de 43 000 tr/min stable.
- N rotor stable.
- T° huile moteur stable de 50°C.
- PA engagé en mode de base.
- léger vent arrière.
- masse de 1700 kg environ.

Tous les paramètres précités ont été lus par le PCB durant 1 minute après ces variations de régime et d'angles en lacet sans évolution notable. Deux à trois minutes plus tard, deux à-coups violents sont ressentis par l'équipage.

Caractéristiques des deux à-coups en lacet :

- espacé de l'ordre de trois à quatre secondes ;
- hauteur d'environ 120 m/sol et Vi de 120 km/h ;
- variation angulaire autour de l'axe de lacet d'environ 15 à 20° degrés pour le premier ;
- variation angulaire autour de l'axe de lacet d'environ 30° pour le deuxième ;
- à chaque à-coup :
 - évolution de régime du GTM de l'ordre de 2000 à 3000 tr/min initialement en augmentation puis en diminution (ressentie sonore) ;
 - pas d'alarme sonore survitesse du rotor ;
 - aucun allumage d'un voyant du tableau de panne 7 Alpha ;
- l'allumage du voyant « ALARM » rouge est constaté dès le 1^{er} à-coup avec extinction lorsque le régime se stabilise ;

- l'allumage du voyant « ALARM » rouge est constaté au deuxième à-coup ;
- le sens des à-coups en lacet est ressenti à droite par l'équipage ;
- aucune vibration, odeur ou tout autre anomalie n'est ressentie ;
- aucun point dure n'est ressentie les manches cyclique et collectifs ou aux palonniers par le pilote aux commandes (pilote à droite jusqu'à l'apparition du 2^{ème} à-coup puis le PCB qui prend les commandes).

Après le 2^{ème} à-coup, le PCB décrante la manette de débit de 2 à 3 mm environ pour ne plus la faire varier par la suite et décide un posé d'urgence en campagne. Le régime GTM diminue ; mais cette diminution n'a pu être quantifiée.

En fin de vol, l'atterrissage en campagne s'effectue selon une PTU sans variation importante de PG selon un angle plat à 120 km/h environ. Le stationnaire avant le posé est de l'ordre de 1 à 2 secondes. Une fois posé, le PCB constate un régime GTM de 42 800 tr/min. Il réduit la manette de débit et le régime GTM se stabilise à 25 500 tr/min durant 1 minute avant de couper la turbine.

Une fois décrantée la manette de débit, l'équipage a retrouvé un comportement sain de la « Gazelle » et de son GTM. Entre le 2^{ème} à-coup et le décrantage de la manette de débit, l'équipage ne peut pas préciser si le voyant « ALARM » s'est éteint.

Le PA, resté en permanence engagé dans le mode de base, est déconnecté au sol.

Investigations menées :

Après changement du régulateur, le phénomène d'à-coup en lacet avec variation du régime moteur s'est reproduit.

Point fixe machine dans le champ : à-coups en lacet (4 battements par secondes). Pas d'allumage du voyant "ALARM" ni de battement de régime. Après purge du régulateur, le phénomène disparaît.

Lors du vol stationnaire de sécurité, au sol le régime chute brutalement de 5000 tr/min de 43 à 38 000 tr/min. le phénomène s'arrête lorsque la manette de débit est décrantée pour un régime de 39 000 tr/min.

Après changement du régulateur, les à-coups se reproduisent avec purge ou non. Le régime monte de 2 000 à 45 000 tr/min. Avant coupure, instabilité de ralenti de +/- 1000 tr/min.

Après dépose et pose du moteur n° 8149 sur une autre « Gazelle » (n° 4227), le phénomène d'à-coup en lacet avec variation du régime moteur s'est reproduit lors des stationnaires de sécurité. De nombreux changements d'équipements et de vérifications n'ont pas permis de résoudre le problème.

Seul l'échange moteur sur la « Gazelle » n° 4136 a permis de libérer l'appareil.

Résultats d'expertise

Expertises à venir du GTM n° 8149 et des trois régulateurs.

Conclusion Turboméca

A venir.

ANNEXE 5**Retour d'expérience de « Gazelle » comportant un mode vibratoire particulier****Retour d'expérience n° 1 : réception de « Gazelle » dans les années 1986-1990**

Un phénomène vibratoire a été rencontré au moment de la réception par le CEV de « Gazelle » :

- sur des « Gazelle » SA 342 en 1986-87 ;
- sur des « Gazelle » SA 342 M1 (Viviane) à la fin des années 80.

Il apparaît lorsque l'appareil est posé au sol (le posé en herbe paraissant plus critique que sur terrain dur), le cyclique légèrement en avant avec 30 % de couple GTM.

De nombreuses investigations ont été menées par Eurocopter dont voici les principaux résultats :

- le phénomène vibratoire correspond à la résonance sol à 3,2 Hz ;
- le phénomène se produit pour un couple assez faible de l'ordre de 30 %, valeur variable d'un régulateur à un autre ;
- le régulateur intervient dans le mode vibratoire puisque l'action sur la manette de débit permet de stopper le phénomène ;
- il ne s'agit pas d'un effet de réduction de régime (comportement constant pour Nr compris entre 384 et 389 tr/min) ;
- la réponse dynamique propre à chaque régulateur qui dépend de son réglage (tarage des ressorts internes..) et du moment d'inertie de ses pièces constitutives, intervient dans le phénomène ;
- le phénomène est non divergeant, estimée désagréable mais non dangereux ;
- la « qualité » des adaptateurs de fréquence en traînée et le train interviennent dans le phénomène.

La solution industrielle a consisté à changer de régulateur, seule méthode efficace pour réceptionner certains aéronefs. La réception d'une « Gazelle » a nécessité 5 changements de régulateur. Sur 19 appareils livrés en 1989, 9 ont nécessité le changement du régulateur.

En utilisation dans l'ALAT, le phénomène ne semble pas avoir été rencontré, car il n'est pas courant d'afficher 30% de couple GTM avec une position de cyclique en avant léger.

Retour d'expérience n°2 : « Gazelle » SA 342 M1 (Viviane) n° 4108

Dans le cadre d'une séance d'autorotation le 5 janvier 2006, la « Gazelle » SA342 n° 4108 a présenté de violents à-coups en lacet rendant la machine difficilement pilotable. L'appareil a été déclaré indisponible et de nombreuses investigations ont été réalisées par l'ALAT, l'AIA de Clermont-Ferrand et les industriels Eurocopter et Turboméca pour déterminer l'origine de ces à-coups.

Le phénomène vibratoire susceptible d'expliquer les à-coups se produit au sol et en vol, quelle que soit la configuration de l'aéronef, sans aucune intervention du pilote (manche au neutre, PA enclenché ou débranché).

De nombreux réglages et déposes d'éléments ont été effectués sans évolution notable du phénomène.

Des mesures vibratoires au niveau cellule ont été effectuées lors d'un point fixe en novembre 2007 permettant d'effectuer les constatations suivantes :

- le phénomène vibratoire se situe à une fréquence de 4,5 Hz ;
- le phénomène rencontré ressemble à de la résonance sol sans diverger ;
- il se produit vers une plage de 25 % de couple ;
- l'apparition du phénomène semble affecter la vitesse de rotation des mécanismes tournants ;
- l'action du pilote sur la manette de débit, permet l'arrêt du phénomène vibratoire à 4,5 Hz.

Des propositions techniques et financières ont été demandées à Eurocopter et Turboméca pour poursuivre les investigations et déterminer l'origine du phénomène. Finalement, les investigations n'ont pas été poursuivies et la « Gazelle » n° 4108 a été arrêtée de vol.

Retour d'expérience n° 3 : « Gazelle » SA 342 M n° 3617, 4049 et SA 342 M1 (Viviane) n° 4136

La « Gazelle » SA 342 n° 3965 possède un historique particulier comportant des à-coups et perturbations au niveau des commandes de lacet et cyclique. Suite à l'événement du 01 juin 2010, l'ALAT a effectué un rapprochement du problème avec deux autres « Gazelle » SA342 (n° 3617 et 4049) comportant un historique similaire.

Le 19 août 2010, la « Gazelle » SA342 n°4136 a fait l'objet d'un événement similaire avec des à-coups en lacet accompagnés de variation de régime GTM (cf. annexe 4).

Des mesures vibratoires au niveau du GTM ont été effectuées par Turboméca sur les trois « Gazelle » lors de points fixes au sol (au ralenti sol à 25 500 tr/min et 43 000 tr/min, PG au PPP) permettant d'effectuer les constatations suivantes :

- le phénomène vibratoire se situe à une fréquence de 4 Hz ;
- le phénomène rencontré ressemble à de la résonance sol sans diverger ;
- les conditions d'apparition ne sont pas maîtrisées ;
- l'apparition du phénomène affecte tous les ensembles mécaniques « moteur/hélicoptère » ;
- l'action du pilote sur la manette de débit, permet l'arrêt du phénomène vibratoire à 4 Hz.

ANNEXE 6

Historique de la « Gazelle » SA 342 M n° 3965 dans les derniers mois

14 avril 2010

Remarque pilote : après fin de panne hydraulique simulée, le durcissement cyclique reste pendant plusieurs minutes (environ 3minutes).

Mesures prises : vérification commande de vol + vérification circuit hydraulique.

xx avril 2010

Vol de 0,8 heures : RAS.

20 avril 2010

Remarque pilote : à-coups importants en lacet et sur le cyclique.

Mesure prises : vérification visuelle ensemble MRP/BTP + intégrité machine. Vérification du PA, vérification des commandes de vol, échanges des trois servocommandes. Vol suivi de travaux et de vols techniques : 4,1 heures.

30 avril 2010

Remarque pilote : fortes perturbations dans les commandes cycliques à environ 45 minutes de vol qui a augmenté progressivement à devenir presque non pilotable. PA coupé, freins magnétiques coupés.

Mesure prises : vérification commande de vol + échange MRP et sphériflex sur « V » de BTP. Vol suivi de travaux et de vols techniques : $0,5 + 1,5 + 1,5 = 3,5$ heures.

18 mai 2010

Point fixe : RAS.

19-20 mai 2010

Vols d'orientation : $1,4 + 0,8 = 2,2$ heures.

Remarque pilote : vibration cellule.

Mesures prises : échange régulateur (dépose du régulateur n° 255B et pose du régulateur n° 357B).

21 mai 2010

Vol technique de 0,2 heures : RAS.

25 mai 2010

Vols techniques : $0,3 + 0,2 + 1,5 = 2$ heures.

Remarque pilote : allumage du voyant « ALARM » en déplacement sol (vol de 0,2).

Mesures prises : Vérification et réglage de la BMM (Butée Manette Maxi, minirupteur).

27 mai 2010

Vol de 1,1 heure pour convoyage vers Montauban : RAS.