



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 24 juillet 2009

RAPPORT PUBLIC D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-M-2008-015-I

Date de l'événement	12 novembre 2008
Lieu	Ribérac (Dordogne)
Type d'appareil	Nord 262 E
Immatriculation	N° 72 F-YSAE
Organisme	Marine nationale
Unité	Flottille 28 F

AVERTISSEMENT

COMPOSITION DU RAPPORT

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

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

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

CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page de garde : SIRPA Marine.

Pages 21, 22, 24, 25, 32 : BEAD-air.

Pages 29, 30, 36 : CEPr.

Pages 23, 28, 51, 52 : extrait documentation technique aéronef.

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	2
TABLE DES MATIERES	3
TABLE DES ILLUSTRATIONS	5
SYNOPSIS	8
1. Renseignements de base	10
1.1. Déroulement du vol	10
1.1.1. Mission	10
1.1.2. Déroulement	10
1.1.2.1. Préparation du vol	10
1.1.2.2. Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'événement	10
1.1.2.3. Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol	11
1.1.3. Localisation	12
1.2. Tués et blessés	12
1.3. Dommages à l'aéronef	13
1.4. Autres dommages	13
1.5. Renseignements sur le personnel	13
1.5.1. Membres d'équipage de conduite	13
1.5.1.1. Commandant de bord, place droite	13
1.5.1.2. Pilote en fonction, place gauche	14
1.5.1.3. Mécanicien de bord (MECBO)	14
1.5.2. Autres membres d'équipage	15
1.5.2.1. Pilote non aux commandes	15
1.5.2.2. Radariste	15
1.5.2.3. Navigateur	16
1.5.2.4. Radio	16
1.6. Renseignements sur l'aéronef	16
1.6.1. Maintenance	17
1.6.1.1. Organisation de la maintenance	17
1.6.1.2. Opérations réalisées sur le GTP 371 :	17
1.6.2. Performances	18
1.6.3. Masse et centrage	19
1.6.4. Carburant	19
1.6.5. Autres fluides	19
1.7. Conditions météorologiques	19
1.7.1. Prévisions	19
1.7.2. Observations	19
1.8. Aides à la navigation	20
1.9. Télécommunications	20
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	20
1.11. Enregistreurs de bord	20
1.12. Examen du lieu d'atterrissage et de l'appareil endommagé	20
1.12.1. Examen du lieu d'atterrissage	20
1.12.2. Examen de l'appareil endommagé	21
1.12.2.1. Constatations préliminaires au niveau du GTP droit, avant décapotage	21
1.12.2.2. Constatations sur le GTP droit, lors de la dépose	23
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	25
1.14. Incendie	25
1.15. Survie des occupants	25
Organisation des secours :	25
1.16. Essais et recherches	25
1.17. Renseignements sur les organismes	26
1.18. Renseignements supplémentaires	26
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	26
2. Analyse	27
2.1. Résultats des examens et analyses effectués au CEPr	27
2.1.1. Identification des endommagements constatés lors du démontage du GTP (voir schéma page suivante)	27

2.1.2. Positionnement des endommagements majeurs sur schémas et illustrations.....	28
2.1.3. Autres constatations.....	30
2.1.3.1. Organes du circuit d'huile.....	30
2.1.3.2. Générateur de gaz.....	30
2.1.3.3. Accès à l'orifice de remplissage du réservoir d'huile et fixations du bouchon.....	30
2.1.3.4. Analyse des fluides.....	33
2.1.3.5. Analyse des particules retrouvées sur le bouchon magnétique.....	33
2.1.3.6. Examens métallurgiques des paliers détruits de la ligne d'arbres du GTP.....	33
2.1.4. Conclusion des examens et analyses effectués au CEPr.....	33
2.2. Causes de la défaillance du palier n° 1.....	34
2.2.1. Hypothèses relatives à un problème de lubrification.....	34
2.2.1.1. Hypothèse : la défaillance du palier n° 1 a pour origine un manque d'huile dans le moteur.....	34
2.2.1.2. Hypothèse : la défaillance du palier n° 1 a pour origine un dysfonctionnement du circuit de lubrification.....	36
2.2.2. Hypothèses relatives à un problème d'origine mécanique interne ou externe au roulement.....	37
2.2.2.1. Hypothèse : la défaillance du palier n° 1 a pour origine un problème interne au roulement.....	37
2.2.2.2. Hypothèse : la défaillance du palier n° 1 a pour origine un problème externe au roulement.....	38
2.2.3. Autres hypothèses relatives au vieillissement du moteur, à son utilisation ou à son entretien.....	39
2.2.4. Conclusions sur les hypothèses de défaillance du palier n° 1.....	40
2.3. Conséquences de la défaillance du GTP et description de la trajectoire.....	40
2.3.1. Conséquences de la défaillance du GTP.....	40
2.3.2. Description de la partie significative de la trajectoire.....	40
2.3.3. Remise des gaz à Bergerac, montée et palier au FL100.....	41
2.3.4. Survenance de l'événement jusqu'au début du déroutement vers Périgueux.....	41
2.3.5. Déroutement et descente vers Périgueux.....	41
2.4. Gestion de l'événement : analyse des actions de l'équipage.....	41
2.4.1. Coupure de l'alarme de débrayage du PA.....	41
2.4.2. Coupure des deux moteurs.....	42
2.4.3. Sécurisation du moteur droit par application de la procédure « incendie d'un moteur ».....	42
2.4.4. Synergie.....	42
2.4.5. Choix des vitesses.....	43
2.4.6. Sortie des volets.....	43
3. Conclusion.....	45
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement.....	45
3.2. Causes de l'événement.....	45
3.3. Réactions de l'équipage.....	45
4. Recommandations de sécurité.....	47
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement.....	47
4.1.1. Défaut d'étanchéité du bouchon de remplissage du réservoir d'huile.....	47
4.1.2. Suivi des ASH sur BASTAN.....	47
4.1.2.1. Périodicité des relevés ASH et définition des seuils d'alerte sur BASTAN.....	47
4.1.2.2. Interprétation des indicateurs ASH sur BASTAN.....	48
4.1.2.3. Investigations complémentaires sur les roulements incriminés.....	48
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement.....	49
4.2.1. Enregistreur de paramètres.....	49
4.2.2. Retour d'expérience.....	49
ANNEXES.....	50
ANNEXE 1 Principe de la lubrification sur BASTAN VI – Détail de la lubrification de la partie avant et du palier n° 1.....	51
ANNEXE 2.....	53
ANNEXE 3 Extrait du rapport RESEDA sur la restitution des paramètres de l'enregistreur d'accident.....	55

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Photographies

Aspect d'ensemble et positionnement de l'appareil piste dégagée	21
Affaissement et rotation dans le sens de l'hélice de la partie avant du GTP droit par rapport à son axe.....	22
Aspect des capotages du GTP droit avant intervention et détail de la trappe d'accès à l'orifice de remplissage d'huile, en position ouverte après décapotage.....	22
Aspect des différentes parties du GTP, capots ouverts	24
Débris métalliques et traces de liquide dans le capot inférieur	24
Principe de la lubrification sur BASTAN VI – Détail de la lubrification de la partie avant et du palier n° 1	24
Joint du filtre à huile sorti de son logement	24
Flaque d'huile échappée du réservoir du GTP droit	25
Carter découpé en sortie de la turbine par le compresseur axial.....	29
Etat du compresseur axial et de ses aubes (vue côté réducteur).....	29
Etage 1 du réducteur et doubles pignons satellites endommagés.....	29
Arbre menant du réducteur et état des paliers avant et arrière du pignon menant	29
Couronne externe du réducteur noircie sur un secteur et arbre porte hélice rompu.....	29
Ligne d'arbres et manchon d'accouplement entre compresseur axial et arbre menant – Etat du palier 1	29
Vue éclatée des fragments du palier n° 1	30
Reconstitution du palier n° 1 vue de la face avant	30
Trappe déformée vue de dessous	32
Trappe déformée vue vers l'arrière de l'appareil	32
Échantillon représentatif d'une trappe observé sur le parc (vue vers l'avant de l'appareil).....	32
Empreinte prononcée du bouchon sur l'intérieur de la trappe	32
Aspect de l'attache étirée et ouverte de la chaînette du bouchon.....	32
Échantillon représentatif de l'ensemble attache / chaînette / bouchon observé sur le parc	32
Traces de suie et de niveau d'huile dans le carter avant du réducteur	36

Schémas

Écorché du moteur BASTAN VI	23
Schéma de principe du GTP et ruptures constatées sur la ligne d'arbres (signalées en rouge)	28
Positionnement et état des différents paliers	28
Principe de la lubrification sur BASTAN VI – Détail de la lubrification de la partie avant et du palier n° 1	51
Circuit de lubrification (en jaune) du réducteur, de l'arbre hélice et du palier n° 1	52
Détail de la lubrification du palier n° 1	52

Trajectographies

Trajectographie radar	53
Segment détaillé de la trajectoire	54
Exploitation des paramètres de l'enregistreur d'accident	57

GLOSSAIRE

ALAVIA	Commandement de la force de l'aéronautique navale
AFIS	<i>Air flight information service</i> - Service d'informations de vol d'aérodrome
ASH	Analyse spectrométrique des huiles
ATPL IR	<i>Airline transport pilot license / Instrument rating</i> – Licence de pilote de ligne / Qualification de vol aux instruments
BAN	Base de l'aéronautique navale
CAG IFR	Circulation aérienne générale – Règles de vol aux instruments
CDA	Commandant d'aéronef
CEPr	Centre d'essais des propulseurs
CEV	Centre d'essais en vol
CPL IR	<i>Commercial pilote license / Instrument rating</i> - Licence de pilote commercial / Qualification de vol aux instruments
DGA	Délégation générale pour l'armement
EAT	Ecole de l'aviation de transport
EPI	Enquêteur de premières informations
FAMI	Familiarisation – Terme relatif aux pilotes moniteurs aptes à instruire d'autres pilotes lors de vols de standardisation.
GTP	Groupe turbo propulseur
hPa	Hecto Pascal
IFR	<i>Instruments flight rules</i> - Règles de vol aux instruments
ILS	<i>Instrument landing system</i> - Système d'atterrissage aux instruments
IMC	<i>Instrumental meteorological condition</i> - Conditions météorologiques de vol aux instruments
MDA	Mise en drapeau automatique
MECBO	Mécanicien de bord

PA	Pilote automatique
OPJ	Officier de police judiciaire
PF	Pilote en fonction
PMC	Puissance maximale continue
PNF	Pilote non en fonction
ppm	Particules par million
PPS	Plein petit pas sol
PPV	Plein petit pas vol
RESEDA	Organisme de restitution des enregistreurs d'accidents
RG	Révision générale
SIMMAD	Structure intégrée de maintien en condition opérationnelle des matériels aéronautiques de la défense
SMA	Service de maintenance des aéronefs
VAP	Visite après vol
VAV	Visite avant vol
VJ	Visite journalière

SYNOPSIS

Date de l'événement : 12 novembre 2008 à 11 h 03.

Lieu de l'événement : environs de Ribérac (Dordogne).

Organisme : marine nationale.

Commandement organique : commandement de la force de l'aéronautique navale (ALAVIA).

Unité : flottille 28 F.

Aéronef : Nord 262 E n° 72.

Nature du vol : vol d'instruction IFR (règles de vol aux instruments).

Nombre de personnes à bord : sept.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Lors d'un vol d'instruction IFR, en croisière, l'équipage est confronté à l'avarie soudaine d'un moteur et à une perte momentanée de contrôle de l'appareil. Le déroutement et l'atterrissage sont effectués en monomoteur sur le terrain de Périgueux.

Le moteur droit est endommagé, l'équipage est indemne.

Composition du groupe d'enquête technique

- Un directeur d'enquête technique du bureau enquêtes accidents défense air.
- Un enquêteur de premières informations (EPI).
- Un officier pilote ayant une expertise sur Nord 262 E.
- Un officier mécanicien.
- Un médecin du personnel navigant.

Autres experts consultés

- Centre d'essais des propulseurs (CEPr) de Saclay.
- Constructeur des moteurs : Turboméca.

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air a été prévenu téléphoniquement par ALAVIA le 12 novembre vers 12 h 00.

Un EPI s'est rendu sur l'aérodrome de Périgueux dans l'après-midi, a recueilli les indices et les premiers témoignages auprès des membres de l'équipage.

Le directeur d'enquête technique s'est rendu à Périgueux le 13 novembre dans la matinée, ainsi que les experts pilote et mécanicien.

Contacté, l'industriel Turboméca a dépêché une équipe le 14 novembre à Périgueux, qui a procédé aux constatations avec le groupe d'enquête lors du démontage du moteur par les mécaniciens du service de maintenance des aéronefs (SMA) de la base de l'aéronautique navale (BAN) de Nîmes-Garons.

Enquête judiciaire

Le parquet de Périgueux s'est saisi de l'affaire. Un officier de police judiciaire de la brigade de gendarmerie de l'air (BGA) de Saintes a été commis. Un officier de police judiciaire de la section judiciaire de la BGA de Paris assure le suivi du dossier.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Indicatif mission : French Navy 50F3.

Type de vol : circulation aérienne générale, règles de vol aux instruments (CAG IFR).

Type de mission : entraînement IFR.

Dernier point de départ : Nîmes-Garons.

Heure de départ : 09 h 10.

Point d'atterrissage prévu : Poitiers.

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

La mission est un vol d'instruction IFR, au profit de deux pilotes stagiaires à la 28F, en vue d'acquérir une nouvelle qualification, appelée « navalisation » sur Nord 262. Les deux stagiaires ont une expérience limitée sur cet appareil et il s'agit de leur premier vol IFR sur Nord 262. Dans ce cadre, la préparation de la mission et le briefing ont été détaillés et adaptés à une mission d'instruction.

Le trajet prévu au décollage de Nîmes et à destination de Poitiers comprend trois segments IFR avec une percée type « locator » sur le terrain du Puy suivie d'une remise de gaz aux minima, une percée ILS (système d'atterrissage aux instruments) à Bergerac avec poser décoller, et une percée ILS avec atterrissage à Poitiers.

Un premier stagiaire en place gauche effectue le trajet en tant que pilote en fonction (PF), le moniteur étant en place droite en tant que commandant d'aéronef (CDA).

Un autre stagiaire devait effectuer le trajet retour au décollage de Poitiers vers Nîmes.

Lors du tour avion, effectué une heure environ avant le vol, le mécanicien de bord (MECBO) a inspecté l'état des capotages des groupes turbopropulseurs (GTP) depuis le sol, et s'est assuré de l'alignement des repères¹ de fermeture de la trappe d'accès au bouchon de remplissage d'huile, sans rien remarquer d'anormal.

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

Selon les témoignages des membres d'équipage, les deux premiers segments de navigation ainsi que les procédures prévues au Puy et à Bergerac sont effectués conformément au briefing et n'appellent aucune remarque.

Le MECBO effectue trois relevés de paramètres entre Nîmes et Bergerac, le premier en montée après décollage, les deux autres en croisière stabilisée au niveau de vol 90. Les paramètres relevés, ainsi que les observations régulières effectuées, sont jugés conformes et stables par le MECBO.

Après le poser-décoller à Bergerac, la montée est effectuée vers le niveau 100 en direction de Poitiers.

¹ La trappe d'accès est fermée par une vis de type « Dzeus », dont l'alignement de la tête sur des repères peints en rouge permet de s'assurer visuellement et à distance de sa position fermée.

1.1.2.3. Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol

L'appareil parvient au niveau 100 et accélère. La puissance est ajustée pour stabiliser la vitesse à 180 noeuds. Le pilote automatique est enclenché. Le pilote stagiaire est aux commandes.

Le MECBO débute à 11 h 03 un relevé de paramètres en croisière stabilisée à 180 nœuds et au niveau 100, en conditions de vol aux instruments (IMC) au cap Nord en route vers Poitiers. Il a le temps de noter le débit carburant, ainsi que le régime et le couple, jugés conformes sur les deux moteurs.

L'équipage perçoit alors un bruit métallique fort et sec, suivi d'un sifflement. Un flash lumineux est également perçu par un membre de la tranche arrière.

Simultanément, l'appareil part en fort lacet et en roulis à droite, avec une tendance à piquer. Le CDA reprend les commandes par réflexe pour tenter d'assurer le contrôle de l'avion. Le PA s'est déclenché et l'alarme sonore associée à ce déclenchement rend les communications quasiment impossibles au sein de l'équipage.

Le CDA envoie un message initial de détresse sur la fréquence de contact en route. Éprouvant des difficultés à tenir sa trajectoire et ayant conscience de l'impossibilité sur cet avion de rallumer des moteurs qui auraient été en moulinet pendant plus de quinze secondes², le CDA décide de couper les deux moteurs à l'aide du drapeau électrique. L'avion redevient plus contrôlable. Le CDA signale sur la fréquence la perte des deux moteurs. Il entend le MECBO lui hurler que la panne est sur le moteur droit. Il demande alors au MECBO de rallumer le moteur gauche pendant qu'il s'occupe de faire cesser l'alarme PA en déclenchant le disjoncteur associé et en passant l'alimentation électrique alternative sur les convertisseurs. Le CDA passe ensuite le transpondeur sur EMERGENCY à la demande du contrôleur.

Le moteur gauche est rallumé et passé à la puissance maximale continue (PMC). L'alarme sonore cesse et l'équipage peut à nouveau communiquer normalement par le téléphone de bord.

Le MECBO tente à nouveau de passer le moteur droit en drapeau, sans succès. Il constate que la commande de mise en drapeau mécanique est bloquée.

Le navigateur indique que le terrain de déroutement le plus proche est Périgueux, dans le 130° et à une trentaine de nautiques de la position.

Le PF confirme le transfert des commandes et se procure les fiches de percée de Périgueux.

Le moteur droit ne répondant plus aux sollicitations, le MECBO applique la procédure « incendie d'un moteur », afin de l'isoler au maximum en fermant tous les robinets d'alimentation en carburant et hydraulique, sans toutefois percuter les extincteurs.

Pendant la descente vers Périgueux, le CDA essaye différentes vitesses et constate que l'hélice du moteur droit tourne avec une vitesse rapide et variable, avec un comportement aérodynamique changeant de l'appareil. La vitesse adoptée est de l'ordre de 120 nœuds, proche de la vitesse de finesse maximum.

Le PF propose de prendre les communications radio à son compte mais ne parvient pas à contacter le contrôle régional (AQUITAINE). Il transfère donc la fonction communication radio au CDA, qui la gardera jusqu'à la fin du vol.

Lorsque la trajectoire est stabilisée, le CDA observe le moteur droit, constate des déformations importantes sur celui-ci, et aperçoit des coulées intermittentes de liquide à la jointure inférieure des capotages. Craignant de perdre le moteur en vol, il demande aux membres d'équipage de rejoindre leurs postes de crash.

² Consigne du MCE AN106E « domaine de rallumage du BASTAN VI C1 ».

Le CDA effectue une percée ILS à Périgueux en piste 30 avec l'aide du PF. Il parvient à stabiliser la descente à 2000 pieds, 900 pieds sous l'altitude de sécurité, puis remonte lentement à 2300 pieds, altitude de début de percée, à la vitesse moyenne de 109 nœuds.

La procédure est effectuée, en contact radio avec l'AFIS de Périgueux, après une entrée décalée dans l'hippodrome d'attente. Les axes ILS sont tenus avec difficulté, la sortie du train d'atterrissage et des volets en particulier engendrant à nouveau de fortes perturbations aérodynamiques. L'hélice du moteur droit émet un vrombissement variable. Le cap en finale varie jusqu'au 270°, pour tenir l'axe au 296°. La piste est en vue à une hauteur de 600 pieds environ (soit 300 pieds au dessus des minimas de la percée).

Redoutant une désolidarisation du moteur droit à tout moment, le CDA décide de poser l'avion en douceur et sur les peignes en entrée de piste afin de se ménager également une marge pour le freinage. Un check des freins est effectué, et l'avion est contrôlé. L'hélice du moteur droit ralentit. La palette sol/vol³ est passée sur « sol » à une vitesse inférieure à 50 nœuds. Les commandes sont transférées au PF pour qu'il utilise la roulette de nez. Le comportement étant normal et l'hélice du moteur droit ralentissant, la piste est dégagée puis l'avion est aussitôt arrêté sur une bretelle. Le moteur gauche est mis en drapeau, les palettes de crash sont actionnées, et l'appareil est évacué par la porte arrière.

1.1.3. Localisation

- Lieu :
 - pays : France métropolitaine ;
 - département : Dordogne ;
 - commune : environs de Ribérac ;
 - coordonnées géographiques :
 - N 45°18' ;
 - E 000°20' ;
 - altitude du lieu de l'événement : 10000 pieds, calage 1013,25 hecto pascal (hPa).
- Moment : jour.
- Aérodrome le plus proche au moment de l'événement : Périgueux, à 30 nautiques dans le 130° du lieu de l'événement.

1.2. Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles			
Graves			
Légères			
Aucune	07		

³ Commande permettant, en position « sol », d'effacer la butée du petit pas vol (PPV) des hélices, qui rejoignent alors le calage petit pas sol (PPS), position freinant davantage. Le CDA est passé sur « sol » à vitesse faible pour éviter une dissymétrie trop importante avec le moteur droit.

1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
N° 72			X	

Seul le GTP droit est endommagé.

1.4. Autres dommages

Néant.

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1. Commandant de bord, place droite

- Age : 37 ans.
- Sexe : masculin.
- Unité d'affectation : flottille 28F.
 - fonction dans l'unité : chef du service de transformation surveillance maritime (STS).
- Formation :
 - qualification : commandant d'aéronef moniteur (CDA FAMI), qualifié vols techniques, vols « MECBO » (monopilote pour formation des élèves MECBO), pilote de ligne (ATPL) ;
 - école de spécialisation : école de spécialisation multimoteurs 52 S de Lorient Lann-Bihoué ;
 - année de sortie d'école : 1992.
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont sur Nord 262	Sur tous types	Dont sur Nord 262	Sur tous types	Dont sur Nord 262
Total (h)	7226,5	5325,4	181,9	107,2	49,4	30,9
Dont nuit	754,3	540,3	4,5	2,4	3,2	2,4
Dont VSV	1127,2	813,2	33,8	15,3	16,8	11,3

- Date du dernier vol comme pilote :
 - sur l'aéronef : 29 octobre 2008 ;
 - sur autre type : 31 octobre 2008.
- Carte de circulation aérienne :
 - type : carte verte, ATPL, qualifié aux instruments (ATPL-IR) ;
 - date d'expiration : 31 janvier 2009.

1.5.1.2. Pilote en fonction, place gauche

- Age : 23 ans.
- Sexe : masculin.
- Unité d'affectation : flottille 24 F de Lorient Lann-Bihoué :
 - fonction dans l'unité : chef du bureau d'information aéronautique.
- Formation :
 - qualification : CDA sur Xingu, pilote professionnel qualifié vol aux instruments (CPL-IR) ;
 - école de spécialisation : école de l'aviation de transport d'Avord ;
 - année de sortie d'école : 2006.
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont sur Nord 262	Sur tous types	Dont sur Nord 262	Sur tous types	Dont sur Nord 262
Total (h)	960,0	10,8	129,1	10,8	9,5	9,5
Dont nuit	140,8	3,9	8,8	3,9	3,9	3,9
Dont VSV	762,6	0,9	90,0	0,9	0,9	0,9

- Date du dernier vol comme pilote :
 - sur l'aéronef : 29 octobre 2008 ;
 - sur autre type : 15 septembre 2008.
- Carte de circulation aérienne :
 - type : carte blanche, CPL-IR ;
 - date d'expiration : 30 juin 2009.

1.5.1.3. Mécanicien de bord (MECBO)

- Age : 51 ans.
- Sexe : masculin.
- Unité d'affectation : flottille 28 F :
 - fonction dans l'unité : instructeur au STS.
- Formation :
 - qualification : mécanicien de bord moniteur (MECBO FAMI), qualifié vols techniques, vols « MECBO » (monopilote pour formation des élèves MECBO) ;
 - école de spécialisation : école du personnel volant ;
 - année de sortie d'école : 1982.
- Heures de vol comme MECBO :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont sur Nord 262	Sur tous types	Dont sur Nord 262	Sur tous types	Dont sur Nord 262
Total (h)	6947,4	2539,8	93,9	90,8	36,0	32,9

– Date du dernier vol : 07 novembre 2008.

1.5.2. Autres membres d'équipage

1.5.2.1. Pilote non aux commandes

- Sexe : masculin.
- Unité d'affectation : flottille 24 F de Lorient Lann-Bihoué.
- Formation :
 - qualification : pilote sur Xingu, pilote professionnel qualifié vol aux instruments (CPL-IR) ;
 - école de spécialisation : école de l'aviation de transport (EAT) d'Avord ;
 - année de sortie d'école : 2007.
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont sur Nord 262	Sur tous types	Dont sur Nord 262
Total (h)	960,0	11,0	11,0	11,0

1.5.2.2. Radariste

- Unité d'affectation : flottille 28 F.
- Formation :
 - qualification : premier navigateur ;
 - école de spécialisation : école du personnel volant.
- Heures de vol :

Total	
Sur tous types	Dont sur Nord 262
5100,0	2800,0

1.5.2.3. Navigateur

- Unité d'affectation : flottille 28 F.
- Formation :
 - qualification : premier navigateur ;
 - école de spécialisation : école du personnel volant.
- Heures de vol :

Total	
Sur tous types	Dont sur Nord 262
1200,0	230,0

1.5.2.4. Radio

- Unité d'affectation : flottille 28 F.
- Formation :
 - qualification : électronicien de bord ;
 - école de spécialisation : école du personnel volant.
- Heures de vol :

Total	
Sur tous types	Dont sur Nord 262
2100,0	300,0

Ce personnel n'avait pas de fonction sur ce vol et occupait un siège passager.

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : marine nationale.
- Commandement organique (ou opérationnel) d'appartenance : ALAVIA.
- Base aérienne de stationnement : BAN de Nîmes-Garons.
- Unité d'affectation : flottille 28 F.
- Type d'aéronef : Nord 262 E :
 - configuration : IFR ;
 - armement : aucun.

– Caractéristiques :

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis	Heures de vol depuis
Cellule	Nord 262 E	72	15103	V2N ⁴ : 279,9	V1N2 ⁵ : 59,4
Moteur droit	BASTAN VI C1	371/155	10413,8	RG ⁶ : 1612,8	MS ⁷ : 1612,8

Renseignements complémentaires sur le moteur droit :

- 1414 cycles et 66 mises en drapeau depuis la RG ;
- 11121 cycles au total.

1.6.1. Maintenance

L'examen de la documentation technique témoigne d'un entretien conforme aux programmes de maintenance en vigueur, tant pour la cellule que pour les moteurs.

1.6.1.1. Organisation de la maintenance

Les visites de premier niveau sont effectuées par les personnels techniciens de la flotte.

Les visites de deuxième niveau sont effectuées par le service de maintenance aéronefs (SMA) de Nîmes-Garons.

Chacune de ces visites est contrôlée par des contrôleurs d'exécution.

Les visites de troisième niveau sont effectuées par les industriels respectifs, pour la cellule et les moteurs.

1.6.1.2. Opérations réalisées sur le GTP 371 :

– Au niveau de l'industriel motoriste

Lors de la dernière révision générale (octobre 2002), ont été remplacés en particulier les roulements des paliers de la ligne d'arbre, tels :

- les roulements avant et arrière du pignon de l'arbre menant dans le réducteur ;
- les roulements avant et arrière du compresseur axial ;
- le roulement de l'ensemble tournant avant (compresseur centrifuge) ;
- le roulement du palier arrière.

Ces roulements ont un vieillissement de 1612,8 heures.

⁴ V2N = visite de 2^{ème} niveau.

⁵ V1N2 = visite de 1^{er} niveau de type 2.

⁶ RG = révision générale.

⁷ MS : mise en service sur l'avion, le 17 février 2003.

- Au niveau de l'opérateur :
 - lors de la visite V2N de l'aéronef au SMA du 19 septembre 2007 au 16 janvier 2008, le GTP n° 371 a été déposé à 1332,9 heures et le roulement du palier arrière a été remplacé (jeu dans un des axes du boîtier support du palier). Ce roulement a donc un vieillissement de 279,9 heures au moment de l'événement ;
 - deux contrôles de vibrations ont été réalisés depuis la V2N et n'ont révélé aucune anomalie vibratoire ;
 - le dernier prélèvement d'huile pour analyse spectrométrique (ASH), effectué le 29 juillet 2008 à 1517,2 heures, a révélé des indicateurs de charges métalliques en fer et en cuivre sous les seuils d'alerte de passage en suivi ASH particulier. Au moment de l'événement, le moteur avait effectué 95,4 heures depuis ce dernier prélèvement et ne faisait pas l'objet d'un suivi ASH particulier⁸ ;
 - lors d'une visite V1N4 le 17 juin 2008, 133 heures avant l'événement, le filtre à huile a été démonté et inspecté, sans révéler d'anomalie. Le joint d'étanchéité du bol du filtre a été remplacé lors de cette opération et un point fixe d'étanchéité concluant a été effectué. La bonne tenue du bol du filtre ainsi que l'absence de fuite au niveau du joint sont également vérifiés en visite journalière et après chaque vol ;
 - les compléments d'huile effectués depuis la dernière ASH (95,4 heures) témoignent d'une faible consommation d'huile du moteur, (de l'ordre de 0,02 litre/ heure), très inférieure au maximum autorisé de 0,8 litre/ heure. Le dernier complément d'huile a été effectué le 30 octobre 2008, soit 5 vols avant l'événement ;
 - la visite après vol (VAP) faisant suite au dernier vol avant l'événement, a été effectuée le 07 novembre 2008. L'opérateur, qualifié pour cette visite⁹, témoigne avoir jaugé le niveau d'huile à chaud sans faire de complément, contrôlé le bouchon magnétique, et l'absence de fuite sur le moteur, sans rien remarquer d'anormal ;
 - la dernière visite journalière (VJ) a été effectuée le 11 décembre 2008, la veille de l'événement. L'opérateur, qualifié pour cette visite, témoigne avoir jaugé le niveau d'huile, vérifié la tenue du bouchon de remplissage et le positionnement de sa chaînette, le bon état de fermeture de la trappe d'accès, la tenue du bol du filtre à huile et l'absence de fuite, le tout sur chaque moteur et sans rien remarquer d'anormal ;
 - la visite avant vol (VAV), a été effectuée le matin de l'événement, par l'opérateur ayant réalisé la VAP. L'opérateur témoigne de l'absence de fuite, avoir jaugé le niveau d'huile à 10,4 litres¹⁰ sans faire de complément, et avoir refermé la trappe d'accès sans rien remarquer d'anormal.

1.6.2. Performances

L'appareil ne faisait l'objet d'aucune restriction de vol au moment de l'événement.

Les relevés de paramètres des moteurs effectués par le MECBO témoignent de performances nominales des deux GTP.

⁸ Les ASH sont réalisées toutes les 100 heures. Le suivi particulier en ASH impose un prélèvement et une analyse toutes les 10 heures. Le facteur déclenchant est l'atteinte d'une concentration en fer de 10 particules par million (ppm), ou d'une concentration de 3 ppm en cuivre.

⁹ Mécanicien titulaire du brevet d'aptitude technique et lâché pour toutes les opérations de mise en œuvre sur Nord 262E.

¹⁰ Valeur inscrite sur la documentation de suivi technique.

1.6.3. Masse et centrage

Masse au décollage : 10540 kilogrammes (Kg).

Centrage : 24%.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F34.
- Masse de carburant au décollage : 3600 livres (= 1633 Kg).
- Masse de carburant restant au moment de l'événement : environ 1500 livres (= 680 Kg).

1.6.5. Autres fluides

Huile moteur Air 3514

Données constructeur, par GTP :

- quantité totale : 22 litres ;
- contenance du réservoir : 12 litres ;
- quantité consommable : 4 litres.

Quantités jaugées à froid avant le vol :

- réservoir GTP gauche : 10,1 litres ;
- réservoir GTP droit : 10,4 litres.

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

Les conditions prévues sont celles d'un régime anticyclonique. Les vents sur les terrains du Puy, de Bergerac et de Poitiers sont calmes, les visibilitées légèrement réduites mais ne posant pas de difficulté opérationnelle et les plafonds nuageux compatibles avec la mission. Aucune activité orageuse n'est prévue.

1.7.2. Observations

Durant les deux premières branches de la mission, de Nîmes à Bergerac, puis jusqu'à la panne, la météo est conforme aux prévisions.

Arrivant au niveau de croisière juste avant l'événement, le radariste ne détecte aucune activité orageuse dans la couche. Des couches de nuages morcelées sont présentes depuis le niveau 100 jusqu'à 2000 pieds. Pendant la percée à Périgueux, l'avion devra traverser une couche compacte de 2000 à 600 pieds environ. Aucun signe de givrage n'est constaté.

La météo constatée à Périgueux est :

- vent calme ;
- QNH 1020 ;
- visibilité 5 km ;
- 8 octas à 600 pieds.

1.8. Aides à la navigation

Les équipements de radionavigation et de navigation autonome embarqués étaient opérationnels durant le vol.

Les moyens de radionavigation du terrain de Périgueux, Locator et ILS-DME étaient opérationnels.

1.9. Télécommunications

Au moment de l'événement, l'équipage est en contact avec le contrôle régional de Bordeaux (AQUITAINE) sur une fréquence VHF. La qualité des communications radio était bonne, en dépit des difficultés temporaires générées par les alarmes diffusées dans le téléphone de bord. L'annonce initiale MAYDAY est faite sur cette fréquence par le CDA.

Après les échanges liés au déroutement vers Périgueux, le CDA reste en contact radio avec AQUITAINE sur une fréquence VHF de dégagement, puis entre en contact avec l'aérodrome de Périgueux sur la fréquence AFIS.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

L'aérodrome de Périgueux est un aérodrome doté d'un service d'information de vol d'aérodrome (AFIS). Il dispose d'une piste revêtue 12/30 (orientation au 116°/296° magnétique) de 1750 mètres de long, d'un locator (indicatif PX), d'un ILS en piste 30 et d'un DME.

1.11. Enregistreurs de bord

Le Nord 262 est équipé d'un enregistreur d'accident à bande photographique de type A26 SFIM avec chargeur.

Il enregistre les paramètres d'altitude pression, de vitesse, de cap et d'accélération verticale, ainsi qu'une base de temps et des tops horaires lorsque le pilote actionne un poussoir spécifique sur le manche.

Ces paramètres sont restitués à partir de la bande photographique à l'aide de grilles d'étalonnage, avec les précisions suivantes :

- altitude environ ± 100 pieds ;
- vitesse ± 5 nœuds ;
- cap ± 5 degrés.

Pour ce vol, la base de temps n'apparaissait pas sur l'enregistrement. Les horaires ont été recalculés par rapport à une partie de la bande pour laquelle la base de temps était enregistrée et apparente.

1.12. Examen du lieu d'atterrissage et de l'appareil endommagé

1.12.1. Examen du lieu d'atterrissage

L'atterrissage a été effectué au seuil de la piste 30 à Périgueux, puis l'appareil a dégagé la piste à la deuxième bretelle sud d'accès au parking, située à environ 1200 mètres de l'entrée de bande.

L'avion a été stoppé sur cette bretelle.

Aucun débris ou trace n'a été trouvé sur la piste et sur la bretelle d'accès, suivant le trajet de roulage effectué par l'appareil.



Aspect d'ensemble et positionnement de l'appareil piste dégagée

1.12.2. Examen de l'appareil endommagé

Le fuselage, la cellule et les différents bords d'attaque ne présentent pas de trace d'endommagement, d'impact, ni de projection flagrante de liquide.

Seul le GTP droit présente des endommagements visibles.

Aucun épanchement de fluide n'est constaté au sol, sous l'appareil stationné.

1.12.2.1. Constatations préliminaires au niveau du GTP droit, avant décapotage

- La partie avant (hélice, réducteur et boîte à engrenage) est affaissée d'environ 5 degrés vers le bas et a pivoté d'environ 20 degrés dans le sens de rotation de l'hélice.
- La nacelle du moteur ne présente pas de déformation.
- Les pales d'hélice, en calage proche du petit pas, ne présentent pas de trace d'impact et l'hélice tourne librement.
- Les capots de la partie avant sont déformés.
- La trappe d'accès à l'orifice de remplissage d'huile est ouverte et ne présente pas d'endommagement visible.
- Le bouchon du réservoir d'huile, sa chaînette de fixation, ainsi que la jauge, sont absents.
- Une quantité d'huile indéterminée est présente dans le réservoir (niveau de 10 centimètres environ constaté sur l'extrémité d'une jauge de fortune non calibrée, de longueur estimée comparable à l'original).

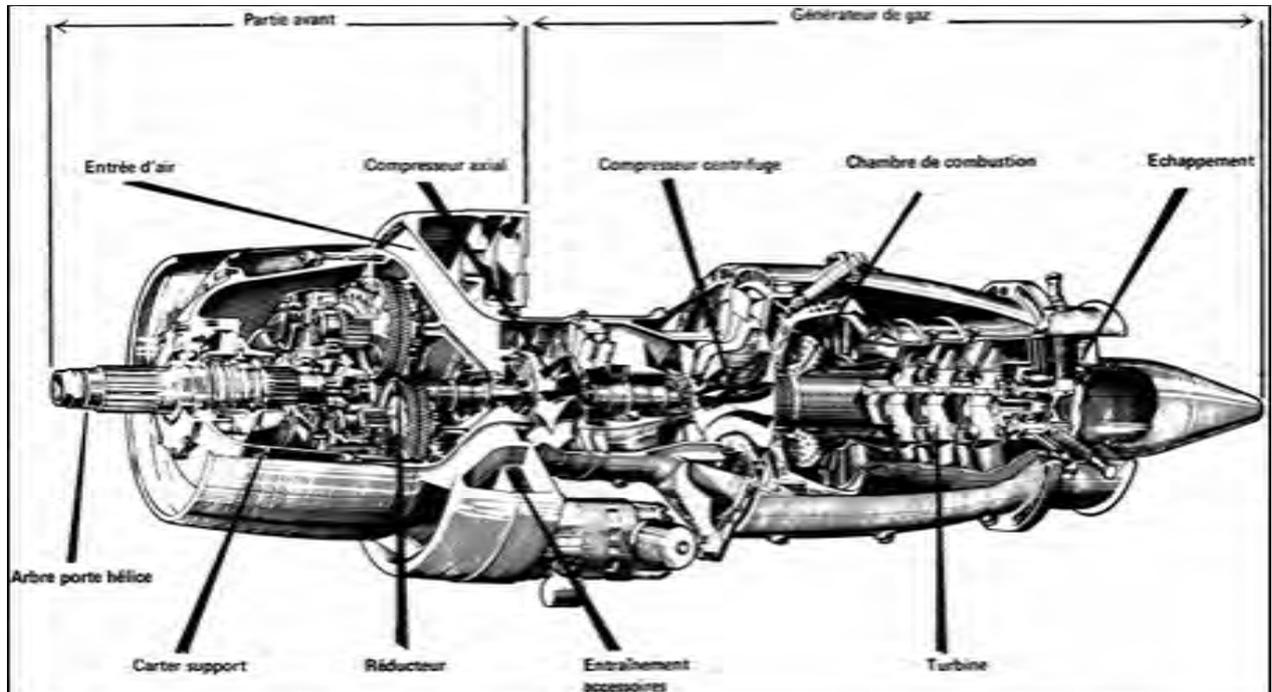


Affaissement et rotation dans le sens de l'hélice de la partie avant du GTP droit par rapport à son axe



Aspect des capotages du GTP droit avant intervention et détail de la trappe d'accès à l'orifice de remplissage d'huile, en position ouverte après décapotage

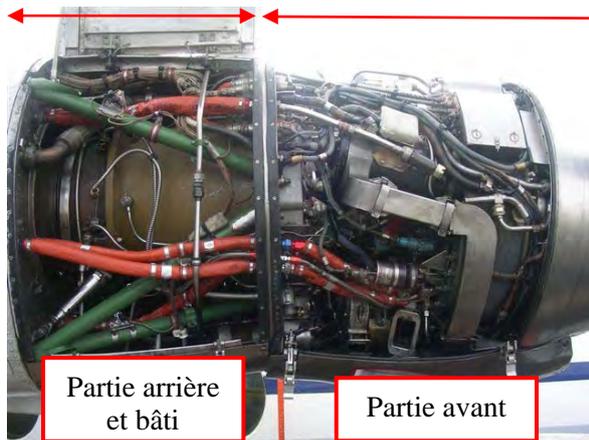
1.12.2.2. Constatations sur le GTP droit, lors de la dépose



Écorché du moteur BASTAN VI

- Le bâti du moteur ne présente pas de déformation, les trois vis de fixations du moteur sur le bâti sont en place et ne présentent pas d'endommagement.
- La tuyère n'a pas bougé.
- La boîte d'entraînement accessoires et le radiateur d'huile ont subi une rotation de 20 degrés dans le sens de rotation de l'hélice.
- L'hélice n'entraîne plus la boîte relais.
- Les tuyauteries sont tordues ou arrachées et les câblages étirés.
- Le régulateur hélice est désaccouplé et ses fixations arrachées.
- Le régulateur carburant est désaccouplé et son arbre d'entraînement cassé.
- La génératrice démarreur est désaccouplée et son bornier arraché.
- Le dispositif de rallumage en vol est sorti de son emplacement.
- La pompe de mise en drapeau automatique (MDA) est désaxée et la cloison moteur est déformée.
- Le carter moteur est ouvert sur 360 degrés au niveau du compresseur axial et les aubes de ce dernier sont détériorées et pliées.
- Des débris métalliques sont présents dans les capots inférieurs, dont la cage extérieure du roulement du compresseur axial.
- Du liquide est présent dans le fond du capot inférieur.
- Des impacts sont visibles sur le compresseur centrifuge.

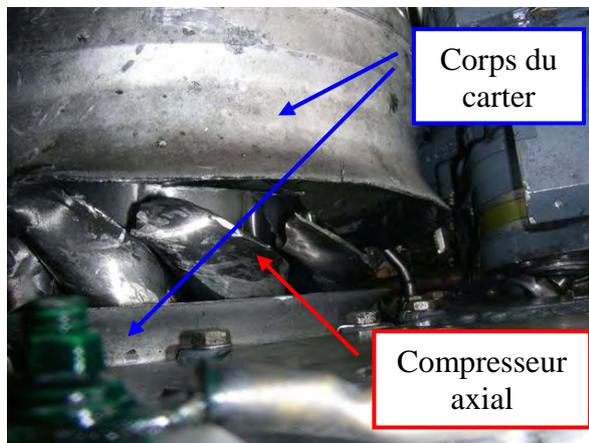
- Le manchon de liaison à l'avant du compresseur axial est rompu.
- Le palier avant et le palier arrière du compresseur axial sont détruits.
- Le joint du bol du filtre à huile est sorti de sa gorge, de la limaille brillante est présente au fond du bol et dans le filtre.
- Le bouchon magnétique est couvert de limaille.
- L'arbre d'entraînement du compresseur axial est rompu à la base arrière de celui-ci et en sortie du compresseur centrifuge.
- Le compresseur axial est désolidarisé du moteur.



Aspect des différentes parties du GTP, capots ouverts



Débris métalliques et traces de liquide dans le capot inférieur



Carter ouvert et aspect des aubes du compresseur axial



Joint du filtre à huile sorti de son logement

Nota : lors du démontage de la partie avant du GTP et de son positionnement sur un camion, une quantité indéterminée d'huile s'est échappée du réservoir et s'est renversée sur le sol.



Flaque d'huile échappée du réservoir du GTP droit

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

Les membres d'équipage de conduite étaient tous médicalement aptes, et dans la période de validité d'une visite médicale du personnel navigant. Aucun prélèvement biologique n'a été effectué.

1.14. Incendie

Sans objet.

1.15. Survie des occupants

Organisation des secours :

Le centre de contrôle de Bordeaux, avec lequel l'équipage est en contact au moment de l'événement, informe l'aérodrome de Périgueux du déroutement de l'appareil en difficulté sur la fréquence AFIS. Les pompiers sont mis en alerte, et suivent l'appareil lors du roulage après l'atterrissage et jusqu'à son arrêt complet. Ils assurent la sécurité lors de l'évacuation de l'appareil, par la porte arrière (sortie normale), des sept personnes présentes à bord, toutes indemnes.

1.16. Essais et recherches

Le CEPr a effectué le démontage du GTP droit, les constatations sur ses éléments, ainsi que les expertises métallurgiques et analyses de fluides en vue de déterminer l'origine de sa défaillance et d'établir un scénario d'endommagement.

L'expertise du constructeur du GTP, l'industriel Turboméca, a également été requise lors des constatations préliminaires sur le site et au cours des travaux du CEPr.

Une analyse comparative des derniers relevés ASH a été effectuée pour identifier une éventuelle progression des indicateurs.

La restitution et l'exploitation des données issues de l'enregistreur de paramètres ont été effectuées dans les laboratoires de RESEDA.

1.17. Renseignements sur les organismes

Néant

1.18. Renseignements supplémentaires

Le commandement de la force de l'aéronautique navale a suspendu provisoirement l'activité sur Nord 262 E aussitôt après l'événement, à titre de mesure conservatoire.

Le centre d'essais en vol (CEV) a également suspendu ses vols sur Nord 262 E.

Un point de situation de l'enquête technique à destination des opérateurs (ALAVIA et CEV) a été effectué par le BEAD-air le 23 janvier 2009, en présence de la SIMMAD, de la DGA/DET/PRA, du CEPr, et de l'industriel Turboméca.

La SIMMAD a émis des recommandations liées aux vérifications avant vol et au contrôle des seuils d'alerte ASH.

La marine nationale a définitivement cessé son activité sur Nord 262 E le 25 février 2009 après le rapatriement en vol vers la BAN de Nîmes-Garons des deux derniers exemplaires dispersés sur terrains extérieurs, dont le n° 72.

Le CEV a quant à lui repris l'activité sur Nord 262 E.

1.19. Techniques spécifiques d'enquête

Néant

2. ANALYSE

Selon les témoignages recueillis, l'équipage a été confronté à une avarie soudaine du moteur droit en croisière, avec des paramètres de vol et moteurs stabilisés et sans aucun signe annonciateur.

Les constatations effectuées sur la cellule et sur le GTP droit attestent sans ambiguïté que l'origine de la défaillance est endogène à ce dernier.

L'analyse qui suit expose les résultats des examens et les causes possibles de la défaillance du GTP. Sont également analysées les conséquences de cette défaillance et la gestion de l'événement par l'équipage.

2.1. Résultats des examens et analyses effectués au CEPr

2.1.1. Identification des endommagements constatés lors du démontage du GTP (voir schéma page suivante)

Les examens réalisés sur le GTP font état de ruptures et d'endommagements multiples sur toute sa section avant, affectant principalement le réducteur et le compresseur axial.

Les constats les plus marquants concernent en particulier :

- les ruptures répétées des accouplements de la ligne d'arbres qui transmet la puissance développée par le générateur de gaz, via le mobile axial et le réducteur, jusqu'à l'arbre porte-hélice (6 points de rupture) ;
- au niveau du premier étage du réducteur, la dissociation et la rupture partielle des trois pignons satellites à chevrons intermédiaires en liaison avec le pignon menant, ainsi que la disparition complète de la denture du pignon menant, à l'entrée du réducteur ;
- des traces d'un feu d'huile dans le carter du réducteur et dans le compartiment supérieur du relais d'accessoires, conséquences des températures atteintes et des étincelles émises dans les vapeurs d'huile lors de la destruction du moteur ; les dépôts de suie témoignant d'un bon niveau d'huile dans le carter et de l'arrêt des engrenages au moment de cette combustion ;
- la destruction des deux paliers avant et arrière de l'arbre du pignon menant dans le réducteur ;
- la destruction du roulement à billes du palier n° 1, à l'avant du compresseur axial, avec un grippage complet du corps roulant et une usure complètement dissymétrique de ce dernier et des demi-pistes intérieures, expliquant le déplacement radial de la roue du compresseur ;
- l'endommagement du palier n° 2, à l'arrière du compresseur axial, consécutif à la dégradation du palier n° 1 et au désalignement du compresseur axial.

L'examen des ruptures en cascade de la ligne de transmission de puissance indique que l'endommagement majeur à l'origine de cette séquence est situé dans l'environnement du compresseur axial.

En effet, les cannelures d'accouplement des différentes parties de l'arbre sont retrouvées vrillées comme suit :

- dans le sens de rotation du moteur pour les cannelures de l'arbre menant à l'entrée du réducteur et celles de l'extrémité avant de l'arbre du compresseur axial, indiquant un couple résistant en amont du réducteur ;
- dans le sens inverse de rotation du moteur pour les cannelures de l'extrémité avant de l'arbre du compresseur centrifuge, indiquant un couple résistant sur le mobile axial.

2.1.2. Positionnement des endommagements majeurs sur schémas et illustrations

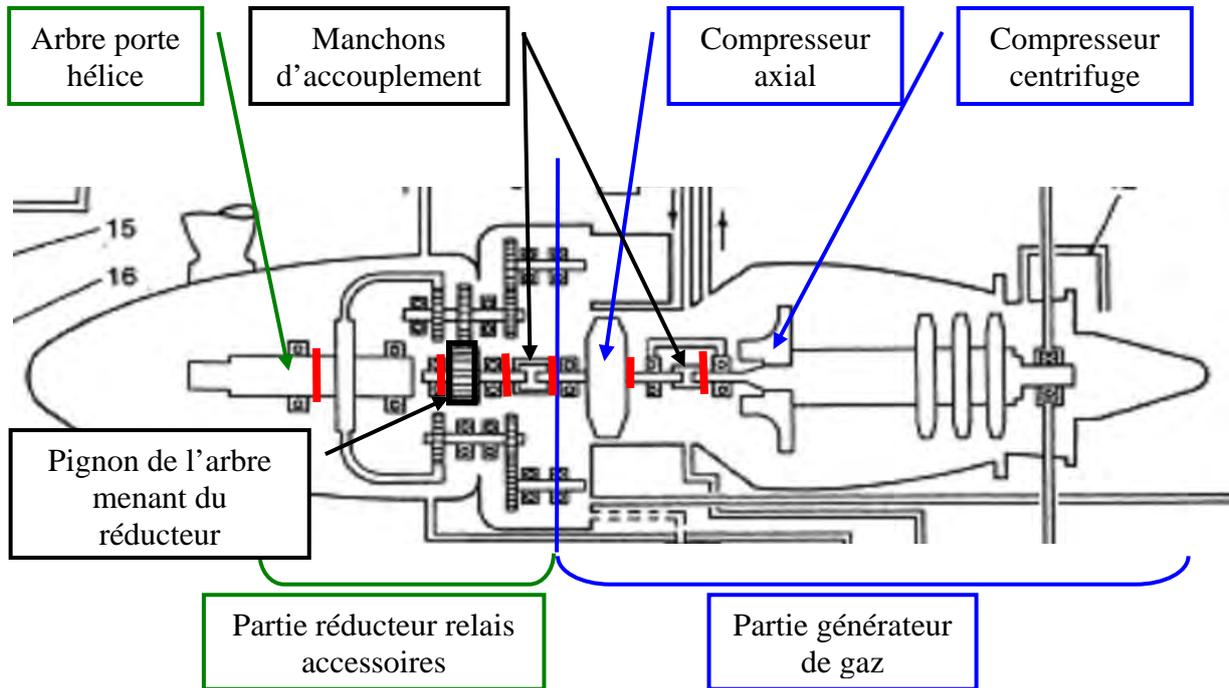
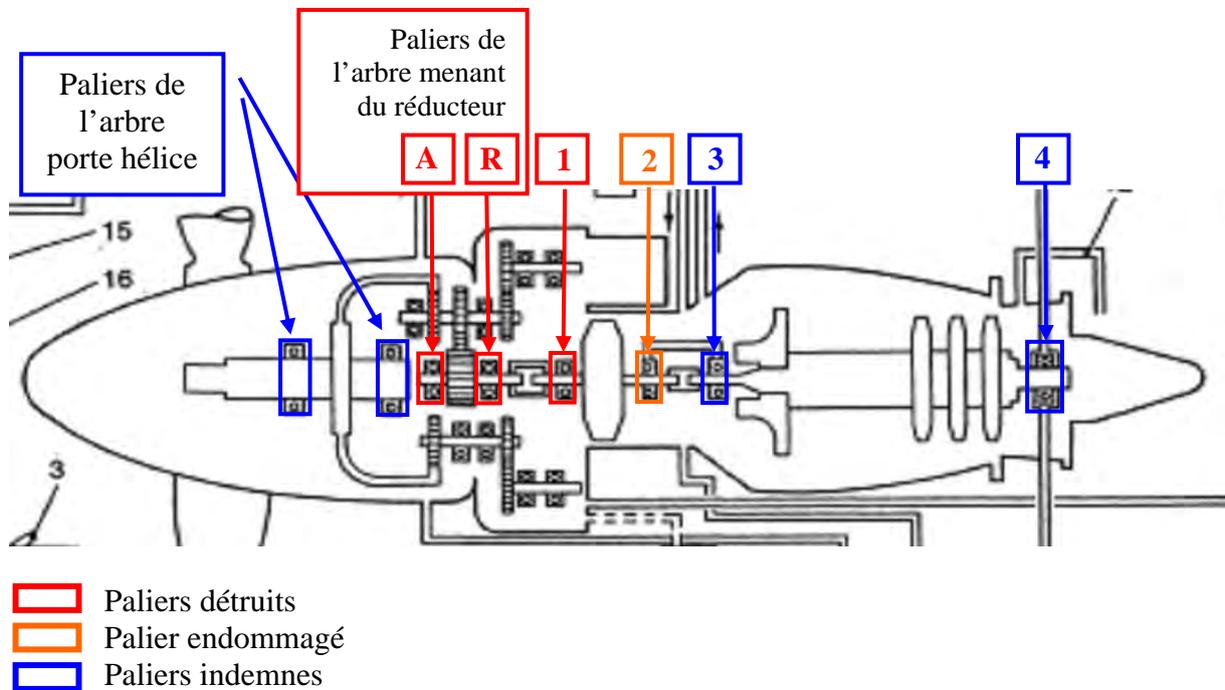


Schéma de principe du GTP et ruptures constatées sur la ligne d'arbres (signalées en rouge)



Positionnement et état des différents paliers



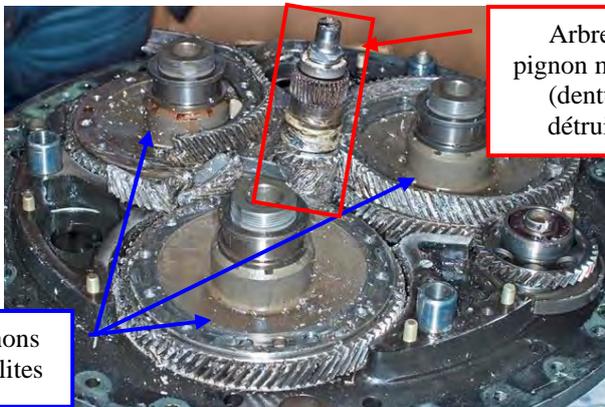
Corps découpé du carter

Carter découpé en sortie de la turbine par le compresseur axial



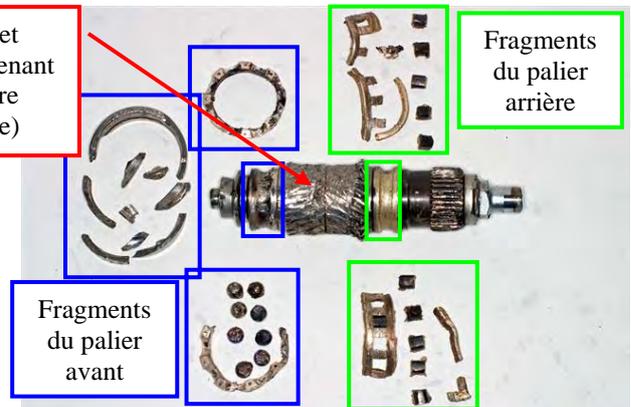
Vers le réducteur

Etat du compresseur axial et de ses aubes (vue côté réducteur)



Pignons satellites

Etage 1 du réducteur et doubles pignons satellites endommagés

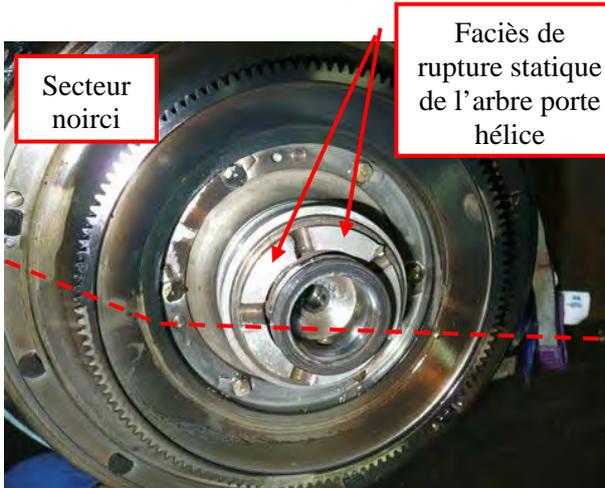


Arbre et pignon menant (denture détruite)

Fragments du palier arrière

Fragments du palier avant

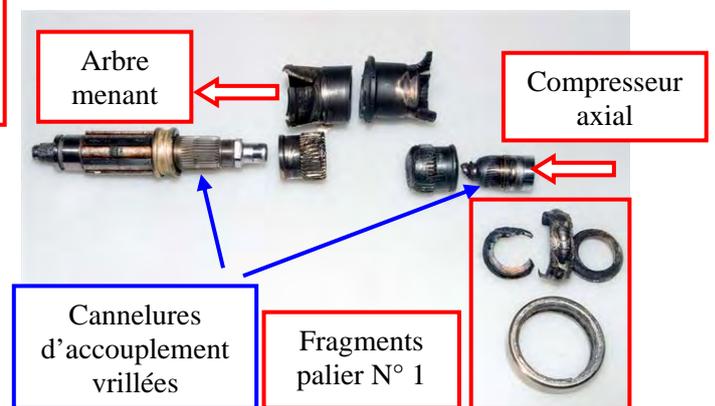
Arbre menant du réducteur et état des paliers avant et arrière du pignon menant



Secteur noirci

Faciès de rupture statique de l'arbre porte hélice

Couronne externe du réducteur noircie sur un secteur et arbre porte hélice rompu



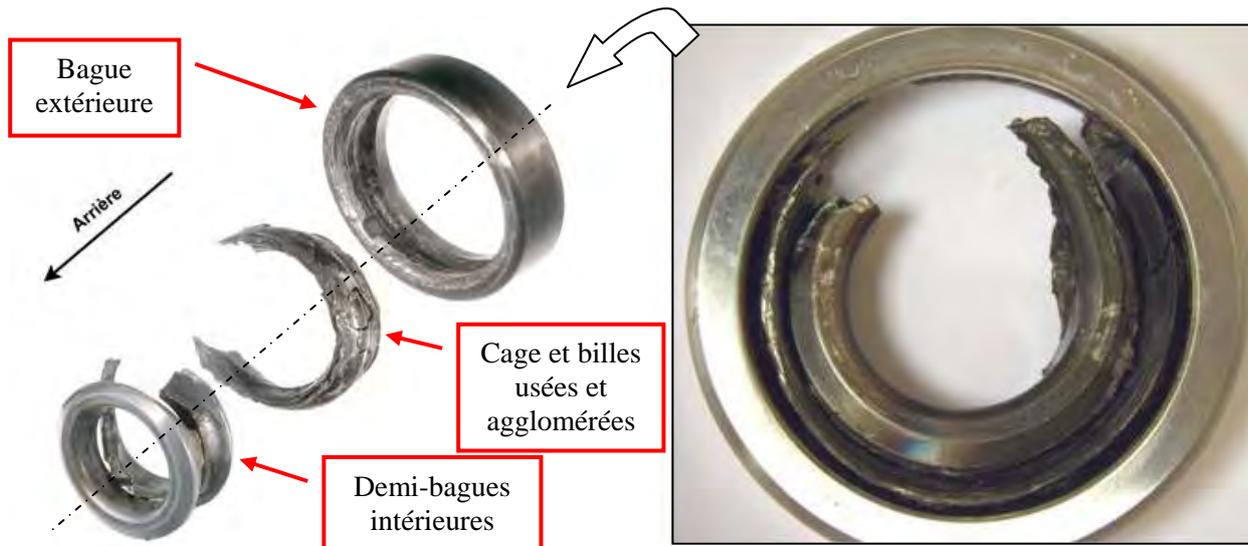
Arbre menant

Compresseur axial

Cannelures d'accouplement vrillées

Fragments palier N° 1

Ligne d'arbres et manchon d'accouplement entre compresseur axial et arbre menant – Etat du palier 1



Vue éclatée des fragments du palier n° 1

Reconstitution du palier n° 1 vue de la face avant

2.1.3. Autres constatations

2.1.3.1. Organes du circuit d'huile

Ont été examinés :

- les pompes de mise en pression et de refoulement d'huile ;
- les conduites d'alimentation du circuit d'huile et du circuit de dégazage ;
- le détecteur de colmatage hélice ;
- le bol du filtre à huile, le joint, le filtre à huile ;
- le transmetteur de pression d'huile ;
- la partie du circuit de signalisation (indication paramètres d'huile et alarme) située sur la cellule.

Les examens n'ont pas mis en évidence une obstruction des circuits en dehors des zones détruites, ni de dysfonctionnement antérieur à l'événement des organes précités. En particulier, l'examen du joint du bol du filtre à huile, retrouvé sorti de sa gorge sur 120° environ, atteste d'un montage initial adéquat (133 heures avant l'événement).

2.1.3.2. Générateur de gaz

Le contrôle endoscopique du générateur de gaz ne révèle pas d'endommagement antérieur à l'événement.

2.1.3.3. Accès à l'orifice de remplissage du réservoir d'huile et fixations du bouchon

Ont été examinés :

- la trappe d'accès, retrouvée ouverte et déformée vers l'extérieur, son aspect de surface, son articulation et sa vis de verrouillage ;
- l'environnement de la trappe sur la peau extérieure du réservoir ;
- l'attache en « S », fixant la chaînette de maintien du bouchon à l'embouchure du réservoir, retrouvée étirée ;
- la crépine, retrouvée maintenue en place ;

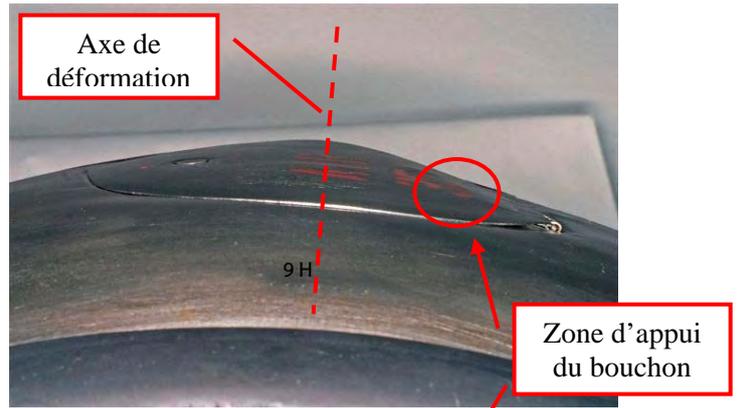
– les ergots de fixation du bouchon sur la goulotte de remplissage.

Des essais de fermeture avec un bouchon neuf confirment que le support de remplissage n'a pas subi de déformation.

Les constatations ne permettent pas de situer l'instant de la disparition du bouchon et de la jauge. Il faut toutefois noter l'étirement et l'ouverture inhabituelle de l'attache en « S » permettant l'échappement de la chaînette du bouchon, et la déformation particulière de la trappe, en comparaison avec l'état de ces mêmes éléments sur l'ensemble du parc. La déformation de la trappe, bombée, apparaît comme « soufflée de l'intérieur » et la rend non jointive, sans pour autant interdire sa fermeture, toujours opérationnelle.



Trappe déformée vue de dessous



Trappe déformée vue vers l'arrière de l'appareil



Échantillon représentatif d'une trappe observé sur le parc (vue vers l'avant de l'appareil)



Empreinte prononcée du bouchon sur l'intérieur de la trappe



Aspect de l'attache étirée et ouverte de la chaînette du bouchon



Échantillon représentatif de l'ensemble attache / chaînette / bouchon observé sur le parc

2.1.3.4. Analyse des fluides

- L'analyse des échantillons de carburant ne révèle aucune anomalie.
- L'analyse des prélèvements d'huile moteur effectués sur le site, lors de la dépose de l'hélice et au niveau du bouchon magnétique confirme la conformité de l'huile (référence O-150), et révèle une dilution de carburant, conséquence des ruptures internes du moteur. En particulier, l'huile recueillie au niveau de l'hélice (plus « propre » car moins soumise à la circulation dans le moteur), révèle des charges de 5 ppm en fer et 3 ppm en cuivre. La teneur en cuivre, égale au seuil d'alerte, est cohérente avec l'évolution de ce paramètre au vu des analyses périodiques précédentes réalisées par l'exploitant (doublement de la concentration sur la dernière ASH effectuée 95 heures avant l'événement), et témoigne de l'usure progressive d'un élément contenant du cuivre.

2.1.3.5. Analyse des particules retrouvées sur le bouchon magnétique

La limaille d'acier à roulement a piégé des particules amagnétiques d'alliage aluminium/cuivre (Al-Cu), traduisant une usure en développement sur un élément en bronze.

2.1.3.6. Examens métallurgiques des paliers détruits de la ligne d'arbres du GTP

Ont été examinés :

- le palier avant du compresseur axial (palier n° 1, à billes) ;
- les paliers de l'arbre menant du réducteur (avant, à billes, et arrière, à rouleaux).

Il convient de noter :

- le palier n° 1, détruit de manière dissymétrique sous l'effet d'un balourd, ne présente pas de trace d'échauffement homogène ;
- les paliers avant et arrière de l'arbre menant du réducteur présentent des endommagements et des échauffements plus homogènes par rapport au palier n° 1 ;
- la cage du palier arrière de l'arbre menant, à rouleaux et rompue en multiples fragments à partir des coins des alvéoles, est en bronze. Aucun indice de fissuration préalable de la cage n'a été identifié. Il s'agit du seul élément contenant du cuivre dans la partie avant du GTP.

2.1.4. Conclusion des examens et analyses effectués au CEPr

Tous les endommagements constatés sont consécutifs à l'effondrement du palier n° 1 à l'avant du compresseur axial.

Suite à l'endommagement de ce palier, la roue du compresseur axial, désalignée, a découpé intégralement le carter du compresseur, conduisant à la séparation en deux parties du GTP.

La poursuite de l'entraînement du moteur pendant un laps de temps a provoqué les endommagements en cascade constatés sur le réducteur et les éléments des divers ensembles en rotation.

La rupture en torsion de l'arbre porte hélice, consécutive au blocage du réducteur et sous l'effet de sa propre inertie, a transformé l'hélice en roue libre animée par le vent relatif.

L'état de dégradation des restes des paliers n'a pas permis aux expertises métallurgiques d'en préciser l'origine avec certitude.

2.2. Causes de la défaillance du palier n° 1

Il est établi que la séquence de destruction du GTP est consécutive à la défaillance du palier n° 1.

Les examens métallurgiques effectués sur les fragments très dégradés des paliers détruits, ne permettent pas de déterminer avec certitude l'origine de ces dégradations.

Les causes de la défaillance du palier n° 1 peuvent être liées à :

- un problème de lubrification ;
- un problème d'origine mécanique interne ou externe au roulement ;
- un problème relatif au vieillissement, à l'utilisation ou à l'entretien.

2.2.1. Hypothèses relatives à un problème de lubrification

Peuvent être considérés un manque d'huile dans le moteur, ou un dysfonctionnement du circuit de lubrification.

2.2.1.1. Hypothèse : la défaillance du palier n° 1 a pour origine un manque d'huile dans le moteur.

Au départ du vol, la quantité d'huile jaugée à froid dans le réservoir (10,4 litres) est suffisante pour assurer un fonctionnement normal durant toute la durée du vol en regard de la faible consommation d'huile du moteur.

Lors du tour avion et après le démarrage du moteur, aucune fuite de liquide en provenance des moteurs n'a été décelée. **Un manque d'huile serait donc la conséquence d'une perte d'huile en vol.**

Plusieurs évidences factuelles pourraient expliquer une perte d'huile conduisant à un endommagement du moteur :

- l'absence du bouchon de remplissage du réservoir et de la jauge ;
- le joint du bol du filtre à huile partiellement sorti de sa gorge ;
- la faible quantité d'huile restante dans le moteur lors du poser de l'appareil.

Les témoignages recueillis auprès des opérateurs techniques, ainsi que les multiples contrôles effectués par des opérateurs différents sur ce point de vérification obligatoire sur chaque moteur, (VAP, VJ, VAV, tour avion du MECBO) plaident en faveur du positionnement normal de ces éléments (bouchon, jauge en place et trappe fermée) avant le vol.

Néanmoins, l'absence de repère sur le bouchon ne permet pas de s'assurer visuellement et sans manipulation d'un verrouillage adéquat de celui-ci. Ainsi, il est possible qu'en dépit des contrôles multiples le bouchon fût observé en place, mais pas nécessairement verrouillé de manière adéquate.

La perte du bouchon et de la jauge implique l'ouverture préalable de la trappe en vol. Les constatations effectuées au CEPr montrent que celle-ci est déformée en son centre, comme soufflée, sans que sa vis de verrouillage soit endommagée. Les déformations identifiées sur cette trappe, ainsi que l'étirement de l'attache de la chaînette du bouchon ne sont pas observés sur les autres moteurs du parc Nord 262.

Ces constatations semblent indiquer une ouverture soufflée de la trappe suivie par une éjection du bouchon¹¹ et de la jauge sous l'effet d'une onde de choc générée par l'énergie libérée lors de la destruction du moteur. De plus, un éventuel verrouillage inadéquat et non repéré lors des contrôles serait compatible avec une éjection du bouchon sans indice flagrant d'arrachement.

L'ouverture de la trappe, ainsi que la perte de l'ensemble bouchon / chaînette et jauge, sont vraisemblablement des conséquences de l'événement, éventuellement facilitées par un verrouillage inadéquat.

- Joint du bol du filtre à huile sorti de sa gorge :
 - les examens effectués au CEPr montrent que le joint, sorti de sa gorge sur un tiers de sa longueur, est conforme et présente des traces de montage sur toute sa circonférence, témoignant d'un montage initial adéquat ;
 - ce joint a été monté 133 heures de vol avant l'événement et un point fixe d'étanchéité a été effectué sans qu'aucune fuite ne soit observée ;
 - l'absence de fuite à l'endroit du joint et la bonne tenue du bol sont vérifiées à chaque VJ ;
 - selon les opérateurs, en cas d'un positionnement inadéquat ou d'un endommagement du joint, une fuite importante aurait été détectée visuellement sous les capotages lors de la mise en route du moteur, ce qui n'a pas été le cas.

Ces constatations permettent d'établir que le joint est probablement sorti de sa gorge par un déplacement latéral du bol, ou une déformation élastique de celui-ci sous l'effet combiné de l'onde de choc et de la pression restant dans le circuit d'huile.

La sortie du joint du bol du filtre à huile est vraisemblablement une conséquence de l'événement.

- Quantité d'huile restante dans le moteur

La quantité totale d'huile restante dans le moteur une fois l'avion posé est faible (environ 5,5 litres estimés après jaugeage dans le réservoir et une petite quantité récupérée dans le carter du réducteur au CEPr), en regard du volume théorique (22 litres au total).

Cependant, cette faible quantité ne peut être représentative du volume d'huile contenu dans le moteur à l'instant de l'événement car :

- le carter du moteur a été ouvert, le joint du bol du filtre à huile est sorti, et le bouchon du réservoir a probablement été éjecté lors de l'événement ;
- l'avion a fait une embardée avec le bouchon probablement absent, et a volé environ 24 minutes après la destruction du GTP ;
- une quantité d'huile a été brûlée dans le compartiment réducteur / boîtier d'accessoires.

De plus, des observations ont confirmé que si la quantité d'huile dans le réservoir est inférieure ou égale à 8 litres, des battements de pression sont perceptibles en cabine.

¹¹ Un serrage moteur, survenu lors d'un point fixe en 1992 sur BASTAN VI, a provoqué l'éjection du bouchon du réservoir d'huile et de la crépine de l'orifice de remplissage, en dépit du verrouillage du bouchon et de la trappe fermée. Cet événement, dont les causes et les circonstances étaient différentes (effondrement du palier arrière de la turbine), témoigne de conséquences parfois inattendues et difficilement explicables de la casse d'un moteur.

Or, aucun battement de pression d'huile (aisément détectable sur l'instrument situé en position centrale de la planche de bord) n'a été observé durant 1 heure et 53 minutes de vol par le MECBO sur l'indicateur (dont le bon fonctionnement du circuit a été validé) avant l'événement.

Les organes non endommagés du moteur, tant dans la partie avant (butée à billes de l'arbre porte-hélice) que dans la partie arrière (paliers n° 3 et n° 4), ne présentent pas de traces d'échauffement et n'ont à l'évidence pas souffert d'un manque de lubrification. Enfin, les traces de suie relevées dans le carter avant du réducteur révèlent qu'une quantité d'huile y a stagné juste après l'arrêt du moteur.



Traces de suie et de niveau d'huile dans le carter avant du réducteur

L'hypothèse selon laquelle un manque d'huile dans le moteur soit à l'origine de la défaillance du palier n° 1 est peu probable.

2.2.1.2. Hypothèse : la défaillance du palier n° 1 a pour origine un dysfonctionnement du circuit de lubrification

- Selon les examens effectués au CEPr :
 - les examens des pompes de mise en pression et de récupération n'ont mis en évidence aucune anomalie antérieure à l'événement ;
 - la vérification du circuit de lubrification (partie interne au moteur et partie avion du circuit de dégazage), en dehors des parties détruites dans la zone du palier n° 1, a montré qu'il était exempt de colmatage. De plus, une obstruction locale est peu probable, du fait que la bague gicleur du palier n° 1 est intacte et que d'autres roulements, lubrifiés par une canalisation parallèle de la même zone du circuit, n'ont pas souffert d'un manque de lubrification.

- Selon le constructeur du GTP :
 - l'éventualité d'une perturbation de la lubrification localisée sur le circuit avant de lubrification du moteur ne peut être exclue ;
 - elle pourrait avoir pour origine une dépression dans le réservoir d'huile provoquée par l'ouverture du bouchon ;

- dans ces conditions, la dépression ainsi créée peut entraîner un déséquilibre de la pression d'huile au niveau des gicleurs. Ce déséquilibre se traduirait par un débit moindre sur certains gicleurs, en particulier sur ceux du circuit avant, plus ramifié que le circuit arrière ;
- de plus, le capteur de pression d'huile étant situé sur la partie arrière, une baisse de pression sur les gicleurs du circuit avant n'apparaîtrait pas au niveau de l'indicateur en cabine et n'alerterait pas l'équipage.

Ainsi, le palier n° 1, supportant des charges axiales et situé sur une ramification du circuit avant, pourrait souffrir d'une baisse de débit sur ses gicleurs¹².

Ce scénario repose sur l'absence du bouchon ou la perte préalable de celui-ci en vol, évidence factuelle ayant été identifiée comme étant vraisemblablement consécutive à l'événement.

Cependant, un défaut d'étanchéité au niveau du bouchon, présent mais non verrouillé correctement (ce qui de plus pourrait expliquer son éjection sans trace flagrante d'arrachement), pourrait avoir une influence sur la lubrification et avoir des conséquences similaires. Cette éventualité ne serait néanmoins mesurable que par essais.

L'hypothèse selon laquelle un dysfonctionnement du circuit de lubrification, lié à la perte du bouchon du réservoir d'huile, serait à l'origine d'une défaillance du palier n° 1 est peu probable.

Cependant, en l'absence d'éléments probants permettant de rejeter l'hypothèse d'un défaut d'étanchéité du bouchon du réservoir d'huile, l'hypothèse avancée par le constructeur selon laquelle un problème de lubrification, lié à un dysfonctionnement du circuit d'huile, serait à l'origine de la défaillance du palier n° 1 demeure possible.

2.2.2. Hypothèses relatives à un problème d'origine mécanique interne ou externe au roulement

2.2.2.1. Hypothèse : la défaillance du palier n° 1 a pour origine un problème interne au roulement

Le roulement, changé en RG, a un vieillissement de 1612 heures. Cette durée de fonctionnement permet d'exclure tout problème relatif à son installation initiale sur le moteur. Le constructeur du GTP rapporte quatre cas d'endommagement survenus sur ce type de roulement dans les années 1980 et 1981. Aucun autre cas n'a été répertorié.

Tous ces antécédents sont consécutifs à un **endommagement progressif** de ce roulement, conduisant à une alerte (présence de particules sur bouchon magnétique).

Aucun antécédent d'endommagement de ce roulement n'a provoqué un arrêt non commandé du moteur en vol.

Or, le contrôle du bouchon magnétique effectué en VAP (à l'issue du dernier vol avant l'événement) et la dernière ASH (95,4 heures avant l'événement) n'ont révélé aucune trace d'un endommagement progressif du roulement.

De plus, aucun indice préalable à cette dégradation n'a été détecté par l'équipage (paramètres moteur, bruit ou vibration).

La destruction de ce roulement s'est donc produite de manière brutale, sans indice préalable de son endommagement.

¹² Le débit d'huile sur ce roulement est d'environ 80 litres/ heure.

L'endommagement en fatigue de la cage du roulement (composant monobloc en acier de maintien des billes), sans émission de particules, pourrait être à l'origine d'une destruction brutale par grippage des billes sur leur piste de roulement.

Une rupture brutale de la cage du roulement aurait pu conduire à la défaillance du palier n° 1. Or, aucun indice d'endommagement progressif (de fatigue ou autre) avant rupture n'a été mis en évidence au cours des différents examens métallurgiques réalisés par le CEPr.

Par ailleurs, ce type de roulement, également utilisé sur les moteurs de type ARTOUSTE et TURMO, n'a connu aucune évolution (information apportée par le fabricant du roulement).

Aucun élément ne permet d'associer la dégradation de ce roulement à un effet de lot.

L'hypothèse d'une défaillance du palier n° 1 ayant pour origine un problème interne au roulement ne peut être écartée malgré l'absence d'indice et d'antécédent similaire.

2.2.2.2. Hypothèse : la défaillance du palier n° 1 a pour origine un problème externe au roulement

Les problèmes mécaniques d'origine externe au roulement peuvent être causés par la présence d'un corps étranger, ou des efforts anormaux appliqués au roulement.

– Présence d'un corps étranger

- aucun corps étranger au roulement susceptible d'avoir interféré dans la cinématique du corps roulant, ni aucune trace d'une telle éventualité n'ont été identifiés ;
- les fractures observables sur d'autres éléments du moteur (vis de maintien des doubles pignons satellites) indiquent des ruptures statiques.

Cette éventualité est rejetée.

– Efforts anormaux appliqués au roulement

Les indices relevés sur les fragments du roulement indiquent une dégradation violente et dissymétrique avec un fort balourd.

Par conception, le roulement est prévu pour supporter des efforts axiaux. Par conséquent, toute surcharge radiale est néfaste et peut entraîner une dégradation rapide, avec apparition de grippage des billes sur un seul secteur.

Une surcharge radiale pourrait être la conséquence d'un désalignement de la ligne d'arbre, elle-même provoquée par la dégradation initiale d'un autre roulement.

Or, des observations secondaires ont montré :

- une progression de la charge en cuivre dans les ASH de l'exploitant (sous le seuil d'alerte) et confirmée par les analyses du CEPr ;
- la présence de particules d'alliage Al-Cu, captées par la limaille d'acier à roulement, et retrouvées sur le bouchon magnétique après l'événement ;
- des traces d'échauffement plus importantes et homogènes sur les paliers avant et arrière de l'arbre menant du réducteur, par rapport au palier n° 1 ;
- la cage du palier arrière de l'arbre menant du réducteur est le seul élément en alliage aluminium-cuivre de la partie avant du GTP.

Ces observations tendent à accréditer l'hypothèse d'un endommagement initial du palier arrière de l'arbre menant du réducteur, pouvant provoquer un désalignement sensible de la ligne d'arbre, retransmis au mobile axial.

Ce palier à rouleaux est conçu pour supporter des efforts radiaux. Sa cage en alliage Al-Cu comporte des alvéoles rectangulaires et est plus vulnérable qu'une cage à billes monobloc telle que celle équipant le palier n° 1.

L'examen des fragments de cage montre que celle-ci s'est rompue à partir des coins des alvéoles, sans révéler toutefois d'indice de fissuration préalable.

Les causes de cet éventuel endommagement initial n'ont pu être déterminées.

Par ailleurs, le palier arrière de l'arbre menant du réducteur étant lubrifié par une ramification du circuit d'huile avant, l'hypothèse d'un problème de lubrification lié au dysfonctionnement du circuit d'huile, évoquée supra, et affectant ce palier est également possible.

Selon le constructeur du moteur, ce type de roulement est équipé d'une cage séparatrice en bronze et est utilisé sur les moteurs de type BASTAN VI et VII.

Le standard 01 de ce type de roulement équipe les moteurs BASTAN depuis leur fabrication. Aucune évolution n'a été apportée.

Le dernier standard du fournisseur de ce type de roulement (standard 04) est équipé d'une cage séparatrice en acier argenté. Ce standard n'est pas utilisé sur les moteurs BASTAN.

Aucun autre cas de dégradation de ce type de roulement n'a été rapporté depuis l'année 2000 (début du suivi informatisé des données constructeur).

Aucun élément ne permet d'associer la dégradation de ce roulement à un effet de lot.

L'hypothèse selon laquelle la défaillance du palier n° 1 a pour origine un problème externe au roulement est possible.

Ce problème pourrait être relié à une éventuelle dégradation initiale de la cage du palier arrière de l'arbre menant du réducteur, reportant ainsi une surcharge radiale sur le palier n° 1.

2.2.3. Autres hypothèses relatives au vieillissement du moteur, à son utilisation ou à son entretien

– Situation du moteur n° 371/155 au sein du parc BASTAN VI de la Marine nationale

Ce moteur se situe dans la deuxième moitié en termes de vieillissement (14ème/20), mais il n'est pas le plus ancien parc (15275 heures). Le nombre de cycles est également cohérent avec le vieillissement comparativement aux autres moteurs.

– Utilisation du moteur

Le nombre de mises en drapeau depuis la RG est cohérent avec l'activité de l'unité (exercices monomoteur) et comparable aux autres moteurs.

Aucun élément saillant dans l'emploi habituel du moteur n'a été relevé.

– Entretien du moteur

Aucune intervention de nature exceptionnelle n'a été relevée en dehors de l'entretien recommandé. Le remplacement du palier arrière de la turbine, à l'occasion de la V2N, 280 heures avant l'événement, traduit un remplacement de précaution suite à la détection d'un jeu dans un des supports de ce palier.

Deux contrôles vibratoires effectués depuis cette opération après la V2N n'ont révélé aucune anomalie. De plus, ce palier a été retrouvé intègre : le remplacement du palier arrière ne peut donc avoir un lien avec l'événement.

Les données relatives au vieillissement du GTP, à son utilisation ou à son entretien n'apportent aucun élément probant susceptible d'expliquer la défaillance du palier n° 1. Les hypothèses relatives à ces domaines sont rejetées.

2.2.4. Conclusions sur les hypothèses de défaillance du palier n° 1

Les constatations et expertises ont établi la séquence d'endommagements en chaîne du moteur et ont permis d'identifier trois causes possibles à la défaillance du palier n°1 :

- la plus probable est une dégradation initiale et progressive de la cage en bronze du palier arrière de l'arbre menant du réducteur, reportant une surcharge radiale sur le palier n° 1 ;
- la seconde, avancée par le constructeur, est un dysfonctionnement du circuit de lubrification, pouvant être lié à un défaut d'étanchéité au niveau du bouchon du réservoir d'huile. Ce défaut d'étanchéité pourrait être la conséquence d'un verrouillage inadéquat du bouchon ;
- la troisième pourrait être un endommagement brutal et inédit d'un composant interne du palier n° 1 (rupture en fatigue de la cage), sans signe précurseur ni antécédent.

2.3. Conséquences de la défaillance du GTP et description de la trajectoire

2.3.1. Conséquences de la défaillance du GTP

Au cours de la séquence de destruction du GTP, la rupture en torsion de l'arbre porte-hélice, sous l'effet de son inertie, transforme l'hélice, privée de toute commande et de régulation, en roue libre animée par le vent relatif. En l'absence d'action du drapeau automatique, l'hélice maintient un calage proche de son calage initial.

Les effets combinés de la perte de la puissance propulsive à droite, alors que le GTP gauche est proche de la PMC, et de la traînée aérodynamique de l'hélice droite à vitesse de croisière, induisent instantanément un fort moment à droite sur l'axe de lacet, ainsi qu'un roulis s'accroissant à droite avec une tendance à piquer.

Dans de telles conditions (hors certification), la reprise de contrôle de la trajectoire dépend entièrement de la rapidité et de la pertinence des actions à contrer, en fonction de l'évolution de l'attitude de l'avion.

2.3.2. Description de la partie significative de la trajectoire

Celle-ci est basée sur la trajectographie radar (voir annexe 2) et la restitution des paramètres de l'enregistreur d'accident (voir annexe 3). L'évolution des paramètres enregistrés corrobore les témoignages des membres de l'équipage de conduite, en apportant des précisions temporelles sur le déroulement de la séquence d'événement.

Les horaires pris en compte sont issus de la trajectographie radar, compte tenu de l'imprécision des tops horaires de l'enregistreur d'accident.

Les valeurs de vitesse données par l'enregistreur sont inférieures à celles calculées par le radar et celles observées par l'équipage, avec des écarts non constants. Ainsi, seules les évolutions et les écarts moyens seront considérés et donnés à titre indicatif.

Trois phases remarquables sont analysées :

- remise des gaz à Bergerac, montée et palier ;
- survenance de l'événement jusqu'au début du déroutement vers Périgueux ;
- déroutement et descente vers Périgueux.

2.3.3. Remise des gaz à Bergerac, montée et palier au FL100

Cette phase dure environ 13 minutes.

La remise de gaz est effectuée au cap 255°, et le niveau 100 est atteint en 8 minutes environ.

L'appareil est stable au cap Nord (information radar).

Le taux de montée est de l'ordre de 1000 pieds / minute.

L'avion accélère en palier au niveau 100 jusqu'à sa vitesse de croisière durant deux minutes vingt secondes environ. Les gaz sont ajustés pour garder la vitesse en croisière. La croisière est stabilisée au niveau 100, cap Nord, durant deux minutes environ.

Cette phase témoigne des performances normales des GTP.

2.3.4. Survenance de l'événement jusqu'au début du déroutement vers Périgueux

Cette phase dure environ deux minutes trente secondes.

La trajectographie révèle l'amorce d'une altération en cap à droite, qui s'accroît, à 11 h 03 min 29 s. Cette altération en cap ne correspond pas à une manœuvre pilotée et marque la survenance de l'événement et la perte de contrôle. Après une trentaine de secondes environ, le cap semble être stabilisé au 030° / 035° environ.

La vitesse chute d'environ 40 à 50 nœuds en 3 secondes environ, puis se stabilise avant de continuer à baisser légèrement.

L'appareil ne semble pas perdre d'altitude dans un premier temps, puis celle-ci diminue franchement. En une minute, l'appareil perd environ 1400 pieds.

Le cap est stabilisé au 030° durant deux minutes après l'événement, puis augmente, marquant le déroutement vers Périgueux. Stable au cap 030° / 035°, l'appareil continue sa descente selon un taux variant de 500 à 800 pieds / minute et passe 7000 pieds en début de déroutement.

2.3.5. Déroutement et descente vers Périgueux

Cette phase dure environ 18 minutes.

La descente est effectuée au cap moyen 130°, selon un taux de descente variant de 800 à 500 pieds / minute. L'avion est mis en palier à 2000 pieds, puis remonte vers 2400 pieds.

Le virage de procédure est effectué par la droite vers un cap 270° en approche. La vitesse diminue vers une centaine de nœuds environ.

2.4. Gestion de l'événement : analyse des actions de l'équipage

Ce paragraphe expose une analyse de certains points particuliers des actions et décisions de l'équipage.

2.4.1. Coupure de l'alarme de débrayage du PA

Ce facteur est primordial pour expliquer l'absence de communication initiale au sein de l'équipage.

Le CDA, dont la priorité est de récupérer le contrôle de l'appareil, ne pense pas à couper l'alarme à l'aide du poussoir de manche prévu à cet effet. Cependant, l'alarme émet un son continu et les voyants « maîtres » de débrayage du PA sont allumés.

Le calculateur PA étant alimenté en 115 Volts / 400 Hertz, la perte brutale de l'alternateur et la génératrice du moteur ainsi que l'arrachement du bornier électrique ont probablement engendré de fortes perturbations sur le réseau électrique de bord.

La documentation du PA confirme que dans ce cas, l'alarme ne peut être coupée par cette simple action, mais par le fait de tirer le disjoncteur PA et de couper l'interrupteur de commande PA situé sur le pylône central.

Lors du rallumage du moteur gauche par le MECBO, le CDA tire le disjoncteur PA, mais la position avancée du MECBO agissant sur les manettes de puissance ne lui permet pas d'atteindre l'interrupteur de commande du PA.

C'est le passage de la palette de commande de courant alternatif de la position « alternateurs » à « convertisseurs » qui stoppe finalement l'alarme.

2.4.2. Coupure des deux moteurs

Le problème est associé aux moteurs (bruit métallique), sans que le CDA et le MECBO puissent identifier immédiatement le moteur en panne, alors que l'avion est difficilement contrôlable. La constatation d'un débit carburant sur le moteur droit au cours de l'embarquée a pu faire douter l'équipage. De plus, l'hélice droite tourne toujours à forte vitesse, en émettant un bruit important. Ainsi, en dépit du mouvement en lacet à droite, ces observations pouvaient laisser penser que le moteur fonctionnait encore.

Ayant à l'esprit qu'un moteur en moulinet ne peut être rallumé après un délai de quinze secondes, le CDA, dont la priorité est de récupérer le contrôle de l'appareil, décide de passer les deux moteurs en drapeau et d'analyser ensuite, cette action étant jugée la plus rapide.

Les drapeaux sont vraisemblablement déclenchés quelques secondes après l'événement.

A la suite de cette action, le couple engendré par la dissymétrie de traction disparaît aussitôt (mais pas la dissymétrie de traînée, du fait de l'impossibilité de commander le moteur droit, ce qu'ignore encore le CDA). L'avion, ayant néanmoins perdu rapidement de l'énergie, redevient plus contrôlable.

Après analyse, il apparaît probable que la réduction de puissance sur les deux moteurs (bien que sans effet sur le moteur droit), aurait permis de contrôler l'avion et d'identifier le moteur en panne. L'équipage aurait alors pu essayer de le couper et de le mettre en drapeau sans pour autant couper le moteur gauche.

Cependant, en situation de perte de contrôle en IMC, l'urgence à agir doit être prise en compte et le plan d'action adopté immédiatement par le CDA ne pouvait être différé ou remis en cause ultérieurement par une analyse plus complète mais plus longue. Il faut également souligner que son action a permis de contrôler l'avion dans un premier temps, puis de rallumer le moteur gauche en s'étant prémuni d'un éventuel emballement des moteurs.

2.4.3. Sécurisation du moteur droit par application de la procédure « incendie d'un moteur »

Bien que le moteur droit ne soit pas en feu, cette procédure permet de couper tous les circuits du moteur, en particulier le carburant, et de l'isoler totalement. Les écoulements de fluide aperçus par l'équipage sur ce moteur, ainsi que son comportement erratique, après plusieurs tentatives de passage en drapeau, justifient pleinement ce choix. Le MECBO a de plus prévenu le CDA que cette action pouvait provoquer des chutes temporaires de pression hydraulique à la sortie des éléments en finale, ce qui s'est produit.

2.4.4. Synergie

La soudaineté de l'événement surprend l'équipage qui doit faire face rapidement à une situation imprévisible et inédite.

Dans de telles circonstances, le niveau de stress de l'équipage augmente brutalement, et est amplifié par l'alarme sonore du déclenchement PA, qui interdit les communications.

Les actions immédiates de l'équipage s'inscrivent donc dans une logique d'actions réflexes, non synergique, dépendant de l'expérience individuelle de chacun de ses membres.

L'équipage est de type particulier, en regard de la grande expérience du CDA, moniteur, et de celle du MECBO, face à la faible expérience du PF, stagiaire en formation et novice sur cet appareil (une dizaine d'heures). La soudaineté et l'imprévisibilité de l'événement ont tétanisé le PF dans les premiers instants.

Le CDA, moniteur, reprend logiquement les commandes de manière réflexe, sans toutefois l'annoncer. Le PF, en retrait dans un premier temps, apporte ensuite son concours au CDA lorsque l'alarme sonore cesse, puis au cours de la percée.

Au cours de l'embarquée, le MECBO recherche des indices de panne, identifie le moteur droit (régime à zéro), et le hurle au CDA qui a déjà déclenché les drapeaux électriques sur les deux moteurs.

Il faut remarquer que lorsque la situation est globalement stabilisée (moteur gauche rallumé, alarme éteinte et déroutement initialisé), soit en un peu moins de deux minutes, la communication au sein de l'équipage redevient possible, les fonctions de chacun des membres étant à nouveau identifiées et réparties.

2.4.5. Choix des vitesses

Après plusieurs essais et face à un comportement aérodynamique aléatoire de l'appareil, le CDA adopte une vitesse proche de la finesse maximum (120 nœuds). Cependant, cette vitesse ne lui permet pas de ne plus perdre d'altitude. Approchant 2100 pieds, il réduit vers une vitesse proche de la vitesse de montée monomoteur (109 nœuds), qui lui permet de stopper la descente et de remonter lentement à 2300 pieds, altitude de début de percée.

L'adoption de la vitesse de montée monomoteur aurait vraisemblablement permis d'arrêter plus tôt la descente, et de ne pas passer sous l'altitude de sécurité de la zone (2900 pieds). Cependant, le comportement de l'appareil ne pouvait être anticipé dans ces circonstances.

2.4.6. Sortie des volets

En finale sur le plan de descente ILS, après la sortie du train et la remontée des pressions hydrauliques, le CDA commande la sortie des volets en position approche. Cette action modifie l'incidence, perturbe fortement les écoulements aérodynamiques agissant sur la dissymétrie de traînée (bruit variable de l'hélice droite) et rend l'appareil difficilement pilotable. Le PF doit alors aider le CDA au palonnier.

Dans ce cas particulier, la situation étant globalement stabilisée et maîtrisée en début de finale, la sortie des volets s'est révélée pénalisante. Cependant, le choix initial du CDA se portait sur un profil de finale connu, écartant les particularités d'une finale sans volet sur la piste plus courte de Périgueux.

Conclusion sur la gestion de l'événement par l'équipage :

La soudaineté de l'événement et la perte momentanée de contrôle de l'appareil, ainsi que l'impossibilité temporaire de communiquer, ont impliqué un enchaînement d'actes réflexes et non synergiques de la part de l'équipage.

Face aux difficultés à maîtriser l'appareil, le choix immédiat du CDA (passer les deux moteurs en drapeau) a été dicté par l'urgence ressentie de la situation. Cette action réflexe a permis de limiter les effets du moment en lacet engendré par la dissymétrie et a été déterminante dans le succès de la reprise de contrôle de l'appareil.

Il est toutefois probable, après analyse, que la réduction immédiate de puissance sur les deux moteurs, sans coupure du moteur gauche, aurait conduit à un résultat identique.

Une fois la situation stabilisée (trajectoire et attitude de l'appareil, dialogue possible), les membres de l'équipage agissent à nouveau de manière synergique au cours de la descente et de la finale, contribuant ainsi au succès du déroutement et de l'atterrissage à Périgueux.

3. CONCLUSION

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

- L'équipage a été confronté à une avarie soudaine du GTP droit en croisière, avec des paramètres de vol et moteurs stabilisés, sans aucun signe annonciateur, après 01 h 53 min de vol. Cette avarie a entraîné une perte de contrôle momentanée.
- L'origine de la défaillance du GTP est endogène à ce dernier.
- L'absence de la jauge et de l'ensemble bouchon/chaînette de l'orifice de remplissage d'huile, ainsi que l'ouverture de la trappe sont vraisemblablement des conséquences de la destruction du moteur.
- L'effondrement du palier avant du compresseur axial est à l'origine des endommagements constatés, ainsi que des ruptures en cascade sur les ensembles en rotation.
- L'hélice est devenue libre en mouvement, sans commande de pas possible.
- S'agissant de la maintenance, l'entretien du GTP est conforme au plan de maintenance en vigueur et les multiples opérations de contrôle au sol ayant précédé le vol n'ont pas relevé d'anomalie.
- La présence d'huile a été attestée, ainsi que le bon état de fonctionnement des organes de lubrification.
- L'analyse des relevés ASH a fait apparaître une augmentation progressive d'une teneur en cuivre, restant inférieure au seuil d'alerte.
- La cage du palier arrière de l'arbre menant du réducteur est le seul élément contenant du cuivre dans la partie avant du moteur.
- Aucun cas similaire de défaillance de GTP de ce type, du palier avant du compresseur axial, ou du palier arrière de l'arbre menant du réducteur n'a été rapporté par le constructeur. Aucune modification de standard ou de qualité n'a été apportée à ces types de roulements équipant les moteurs BASTAN.

3.2. Causes de l'événement

Cette avarie inédite, ayant provoqué des destructions importantes sur le GTP, a pour origine la défaillance du palier avant du compresseur axial (palier n° 1).

Les expertises et les recherches effectuées avec l'aide du constructeur ont permis de déterminer trois causes possibles de la défaillance du palier n° 1 :

- la plus probable est une dégradation initiale et progressive de la cage en bronze du palier arrière de l'arbre menant du réducteur, reportant une surcharge radiale sur le palier n° 1 ;
- la seconde, avancée par le constructeur, est un dysfonctionnement du circuit de lubrification, pouvant être lié à un défaut d'étanchéité au niveau du bouchon du réservoir d'huile. Ce défaut d'étanchéité pourrait être la conséquence d'un verrouillage inadéquat du bouchon ;
- la troisième pourrait être un endommagement brutal et inédit d'un composant interne du palier n° 1 (rupture en fatigue de la cage), sans signe précurseur ni antécédent.

Les conséquences de l'avarie soudaine du GTP droit en croisière stabilisée et sans signe annonciateur, ont induit instantanément une dissymétrie de traction et de traînée engendrant un fort moment en lacet et une perte momentanée de contrôle de l'appareil.

3.3. Réactions de l'équipage

Confronté au caractère atypique de l'événement et à l'impossibilité de communiquer, les membres de l'équipage ont agi dans un premier temps de manière réflexe et non synergique.

Le choix immédiat du CDA de passer les deux moteurs en drapeau électrique a été dicté par l'urgence de récupérer le contrôle de l'appareil, dans une situation très évolutive laissant peu de temps à l'analyse.

Bien qu'une réduction immédiate de puissance sans coupure du moteur gauche aurait vraisemblablement conduit à un résultat identique, le choix initial du CDA a été déterminant dans le succès de la reprise de contrôle de l'appareil.

Le fonctionnement synergique de l'équipage, réapparu une fois la situation stabilisée (trajectoire et attitude de l'appareil, dialogue possible) au cours de la descente et de la finale, a permis de faire face aux difficultés de pilotage toujours présentes et contribué à limiter les conséquences de l'événement.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

4.1.1. Défaut de verrouillage du bouchon de remplissage du réservoir d'huile

Cette éventualité, non prouvée, peut selon le constructeur du GTP, affecter la lubrification de la partie avant du moteur sans que cela soit perceptible par l'équipage.

Il a été constaté que le système de fermeture et de verrouillage du bouchon (fixation type quart de tour du bouchon puis serrage central à l'aide d'un papillon) n'est pas muni de détrompeur ou de repère sur aucun moteur du parc Nord 262. Ainsi, le bouchon peut être positionné puis le papillon serré et rabattu dans différentes positions, même en dehors de ses ergots, sans qu'il soit possible de s'assurer d'un verrouillage adéquat par un simple regard.

Il faut dans ce cas prendre en main le corps du bouchon et s'assurer qu'il est bien fixé. Ce geste n'est pas obligatoirement effectué par tous les opérateurs techniques lors de leur contrôle, en particulier dans le cas où un complément d'huile ne s'avère pas nécessaire.

De plus, la chaînette de fixation, de longueur non standardisée, occasionne une gêne lors de la fermeture du bouchon et peut favoriser une position et un verrouillage inadéquat lors d'une opération effectuée sous contrainte temporelle.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande aux opérateurs utilisant ce type de bouchon (indépendamment du type d'aéronef) :

- **de standardiser la procédure de fermeture par la mise en place systématique de repères visibles (peinture) ;**
- **de formaliser le geste technique de fermeture et de contrôle de ce type de bouchon et de sensibiliser les opérateurs techniques sur les conséquences éventuelles d'une erreur de verrouillage.**

4.1.2. Suivi des ASH sur BASTAN

4.1.2.1. Périodicité des relevés ASH et définition des seuils d'alerte sur BASTAN

Les ASH sont effectuées avec une périodicité de 100 heures dans le cadre d'une surveillance dite « de routine », toutes les 10 heures dans le cadre d'une surveillance rapprochée.

Les moteurs passent en surveillance rapprochée lorsqu'une concentration (fer ou cuivre) atteint un seuil d'alerte prédéfini.

Une progression particulière de la charge en cuivre a été constatée sur deux relevés ASH consécutifs, sous le seuil d'alerte, et l'analyse du CEPr a confirmé la poursuite de la progression et l'atteinte du seuil d'alerte (3 ppm).

Cette progression n'a pu être relevée avant l'événement, survenu près de 100 heures après le dernier relevé ASH.

Il apparaît également que le suivi ASH avait été allégé en 2000, passant de 50 heures à 100 heures. Cette évolution avait été actée par l'autorité technique.

Suite à l'événement, et après communication des hypothèses aux opérateurs, le CEV a repris temporairement son activité sur Nord 262 (l'arrêt définitif de l'activité est prévu en juillet 2009) en instaurant un contrôle en ASH toutes les 10 heures.

La SIMMAD avait recommandé aux opérateurs d'abaisser le seuil d'alerte du cuivre à 2,5 ppm en cas de reprise de l'activité sur Nord 262.

Le bureau enquêtes accidents défense air approuve la recommandation de la SIMMAD ainsi que la mesure préventive adoptée par le CEV concernant le BASTAN, et recommande également à l'autorité technique :

de revoir la périodicité actuelle des contrôles ASH sur BASTAN, et de réétudier le seuil d'alerte des indicateurs pertinents d'usure de ces roulements, utilisés sur d'autres types de moteurs.

4.1.2.2. Interprétation des indicateurs ASH sur BASTAN

La progression particulière de la charge en cuivre n'a pas été repérée car située sous le seuil d'alerte. De plus, l'analyse des relevés ASH s'arrête à la comparaison d'un indicateur chiffré et ponctuel à un seuil défini.

Le bulletin technique 23R1, relatif au suivi ASH du BASTAN VI, demande de surveiller la vitesse de pollution en fer, mais pas celle du cuivre.

Il a été constaté que cette préconisation (surveillance de la vitesse de pollution en fer) n'est pas respectée actuellement.

Par ailleurs, l'informatisation des données ASH permet de réaliser des graphiques de progression pour chaque indicateur, et, par lecture comparative au sein d'un parc, de repérer plus aisément une progression inhabituelle.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

– aux opérateurs :

de suivre la vitesse de pollution du fer conformément aux prescriptions du BT23R1, à partir des concentrations données par les relevés ASH.

– à l'autorité technique et aux opérateurs :

- **de définir, en relation avec le constructeur du GTP, un seuil de vitesse de pollution du cuivre ;**
- **concernant les suivis ASH en général, d'analyser toute progression particulière d'un indicateur, même évoluant sous un seuil d'alerte défini, et de décider d'éventuelles mesures (surveillance rapprochée ou intervention technique).**

4.1.2.3. Investigations complémentaires sur les roulements incriminés

Bien qu'un tel cas de dégradation soit sans antécédent (dégradation brutale du palier n° 1 ou dégradation initiale du palier arrière de l'arbre menant du réducteur), une cause endogène aux composants de ces roulements (usure prématurée, fatigue) et éventuellement liée à la qualité de fabrication ne peut être totalement écartée.

Selon le constructeur du GTP, ces types de roulements sont utilisés sur d'autres moteurs (ARTOUSTE et TURMO), avec toutefois des emplacements et des contraintes différentes.

La détermination de la cause racine de dégradation de ces roulements sur BASTAN, mais également installés sur d'autres moteurs, nécessite une analyse de fond (observation systématique du niveau d'usure lors de leur remplacement en RG ; expertise des roulements présentant des détériorations...).

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande au constructeur, en liaison avec l'autorité technique :

- **d'approfondir la recherche de la cause racine de dégradation des roulements incriminés ; notamment de procéder à l'observation systématique de l'état de ces roulements lors de leur remplacement en RG et à l'expertise des exemplaires présentant des détériorations ;**
- **de proposer d'éventuelles mesures correctives associées.**

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

4.2.1. Enregistreur de paramètres

Lors du dépouillement des données de l'enregistreur, il a été constaté que la base de temps n'était pas enregistrée lors de ce vol, alors qu'elle l'était pour d'autres vols précédents.

La base de temps a dû être extrapolée des vols précédents mais a induit des incertitudes du fait des changements de vitesse de défilement de la bande.

La documentation de cet équipement précise que lorsque l'horloge qui génère la base de temps est remontée entièrement, la réserve de marche est estimée à huit jours (principe de la montre à remontoir).

Aucun signe particulier n'informe le technicien d'une faiblesse du remontage. Ainsi, l'horloge peut s'arrêter sans que l'on s'en aperçoive.

Lors de la VJ, l'opérateur teste le bon fonctionnement de la fonction d'enregistrement (bouton test), mais ce test ne permet pas de savoir si la base de temps fonctionne (défaut de fonctionnement ou absence de remontage).

Aucune consigne formalisée ne mentionne la vérification du bon remontage de l'horloge. Une consigne non écrite, connue et appliquée par les opérateurs les plus expérimentés, consistait à remonter l'horloge lors d'une visite hebdomadaire. Cette pratique ne semble pas connue des opérateurs plus jeunes.

Il est donc très probable que l'horloge qui génère la base de temps se soit arrêtée faute de remontage suffisant.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande aux opérateurs exploitant des aéronefs équipés d'enregistreurs analogues :

d'intégrer une consigne de remontage systématique de l'horloge de l'enregistreur dans le guide de visite technique des opérateurs du premier niveau d'intervention.

4.2.2. Retour d'expérience

La connaissance de cet événement atypique doit contribuer à enrichir l'expérience des équipages d'aéronefs multi moteurs à hélices.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande aux opérateurs étatiques de tels aéronefs :

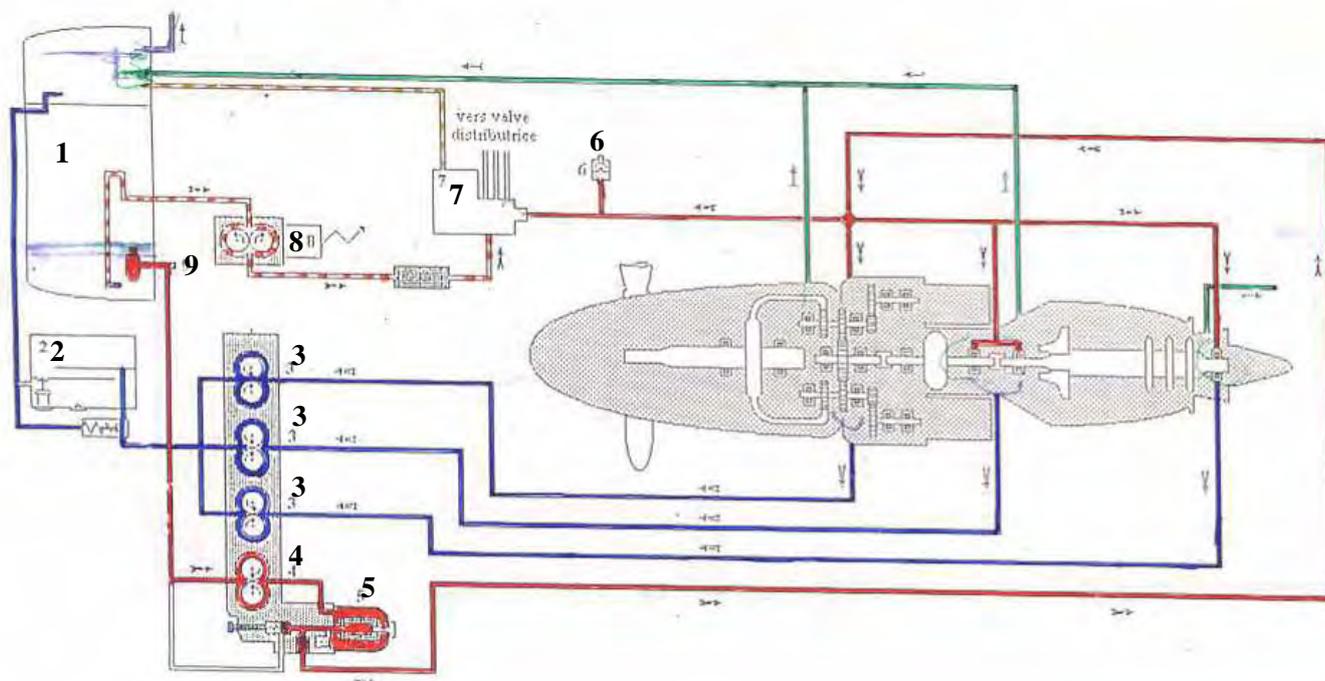
d'assurer la plus large diffusion commentée de l'événement.

ANNEXES

Annexe 1 : Principe de la lubrification sur BASTAN VI – Détail de la lubrification de la partie avant et du palier n° 1.....	51
Annexe 2 : Trajectographie radar.....	53
Annexe 3 : Extrait du rapport RESEDA sur la restitution des paramètres de l'enregistreur d'accident	55

ANNEXE 1

Principe de la lubrification sur BASTAN VI – Détail de la lubrification de la partie avant et du palier n° 1

**Légende**

→ Circuit de lubrification ; → Circuit de récupération ; → Circuit de dégazage

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 1- Réservoir | 4- Pompe de mise en pression | 7- Régulateur hélice |
| 2- Radiateur d'huile | 5- Filtre à huile | 8- Pompe de mise en drapeau |
| 3- Pompes de récupération | 6- Transmetteur de pression | 9- Sonde de température d'huile |

L'huile est aspirée dans le réservoir par la pompe d'alimentation et est refoulée vers le filtre (environ 3 bars de pression). L'huile est ensuite dirigée vers les différents organes à lubrifier. Une prise de pression permet l'alimentation du régulateur d'hélice.

A l'extrémité de chaque ligne de pression, des gicleurs pulvérisent l'huile sur les organes à lubrifier.

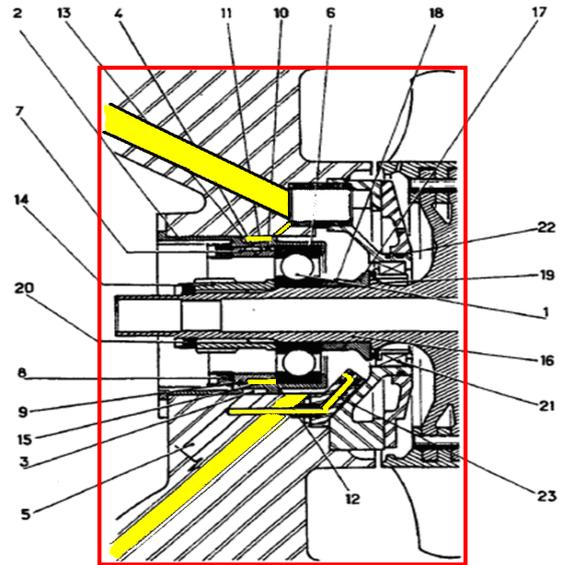
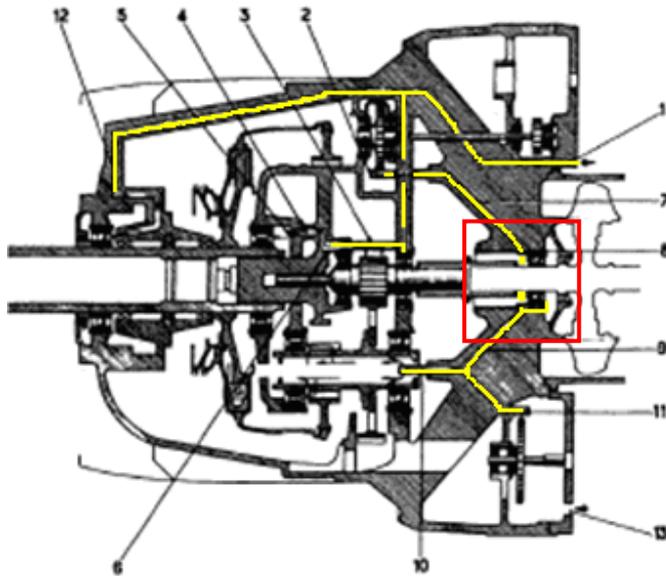
La récupération de l'huile s'effectue par l'intermédiaire de trois pompes (situées dans le même bloc, avec la pompe de mise en pression), pour le palier arrière n° 4, pour la partie centrale (paliers n° 2 et n° 3), et pour la partie avant (paliers n° 1, réducteur, palier AV et AR de l'arbre menant, paliers de l'arbre porte-hélice).

L'huile récupérée est ramenée au réservoir après être passée éventuellement par l'échangeur et le radiateur.

Les vapeurs consécutives à la lubrification sont ramenées au réservoir qui est muni d'une mise à l'air libre. Le dégazage du palier arrière se fait à l'air libre directement.

Le contrôle de fonctionnement est assuré à l'aide de l'indication de pression, de l'alarme visuelle de basse pression (10 PSI) et de l'indication de température.

Schémas détaillés du circuit de lubrification de la partie avant et du palier n° 1.



Circuit de lubrification (en jaune) du réducteur, de l'arbre hélice et du palier n° 1

Détail de la lubrification du palier n° 1

Légende

Lubrification de la partie avant :

- 1- Entrée de l'huile
- 2- Graissage de prise de mouvement
- 3- Graissage arbre menant du réducteur
- 4- Canalisations de graissage du roulement arrière de l'arbre porte-hélice
- 5- Gicleur de graissage du roulement arrière de l'arbre porte-hélice
- 6- Graissage du roulement avant du pignon menant du réducteur
- 7- Graissage du roulement avant du compresseur axial (palier n° 1)
- 8- Gicleur de graissage du palier n° 1
- 9- Canalisations de graissage des paliers intermédiaires du réducteur
- 10- Gicleur de graissage des paliers intermédiaires du réducteur
- 11- Gicleur de graissage de la chaîne d'entraînement accessoires
- 12- Graissage du palier avant de l'arbre porte-hélice
- 13- Récupération d'huile

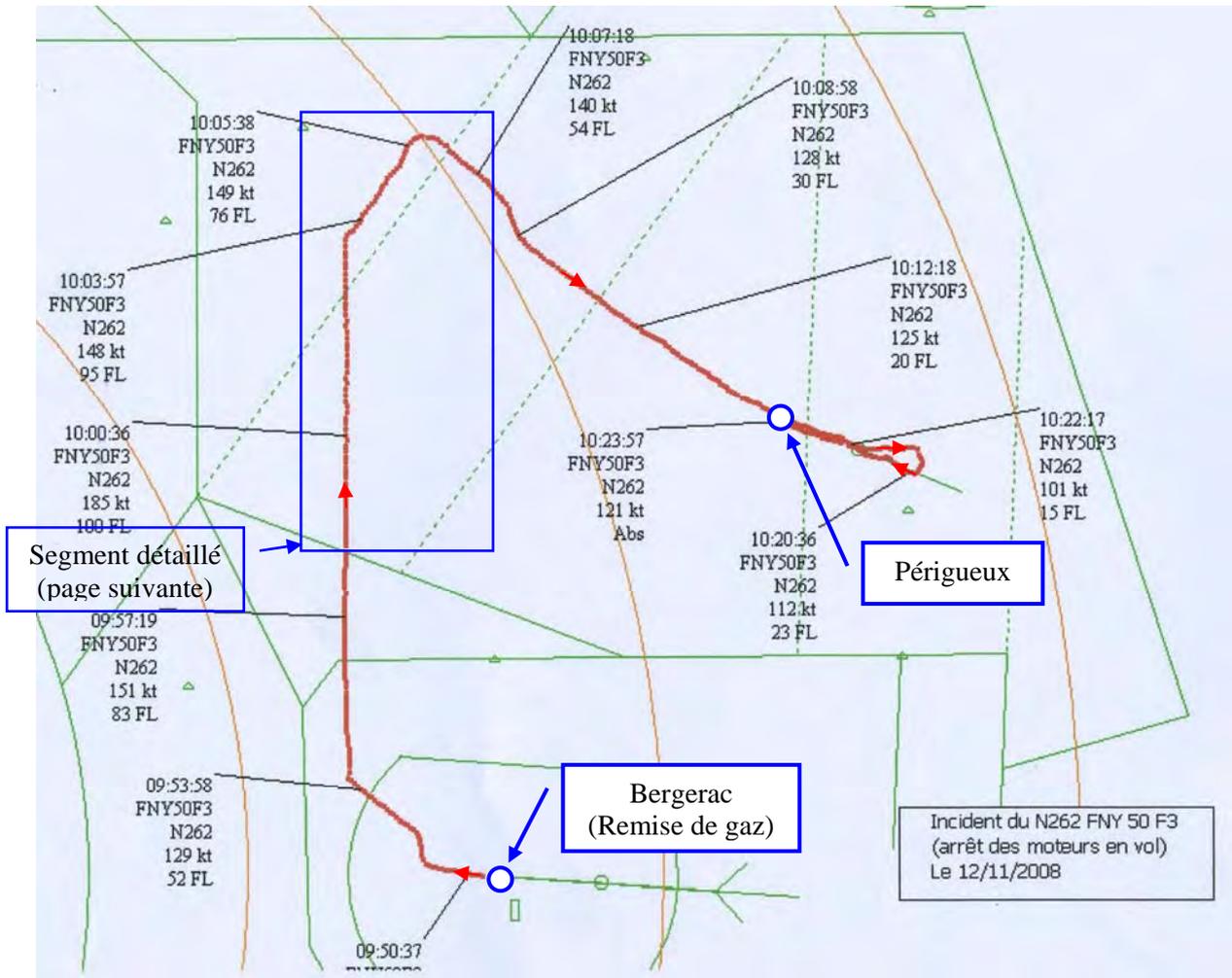
Lubrification du palier n° 1 :

- 1- Ensemble roulant du palier n° 1
- 7- Bague gicleur du palier n° 1
- 23- Gicleur de graissage arrière du palier n° 1

ANNEXE 2

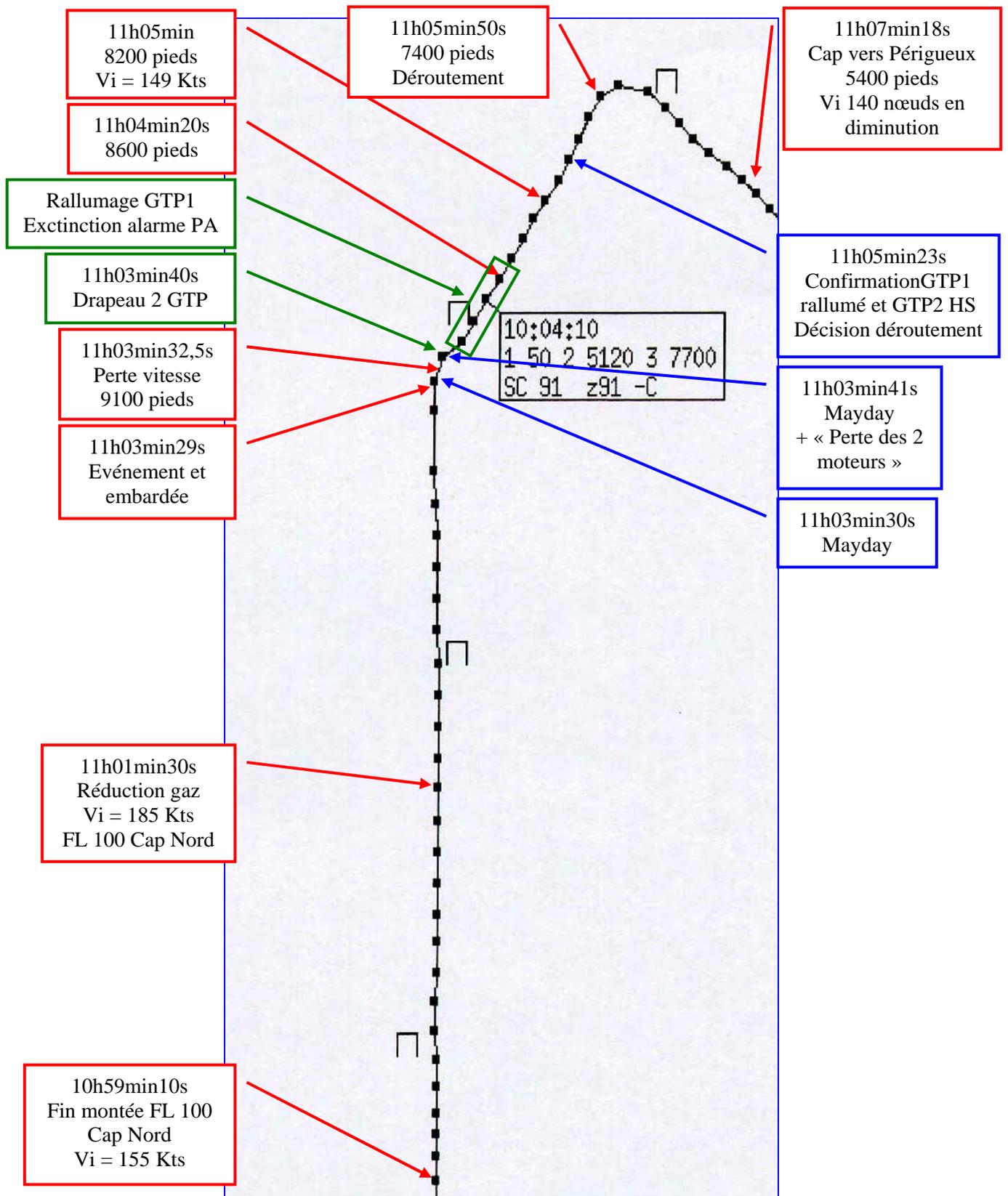
Trajectographie radar

Les horaires sont exprimés en heures UTC



Trajet effectué par l'appareil entre Bergerac et Périgueux

Segment détaillé de la trajectoire



ANNEXE 3

Extrait du rapport RESEDA sur la restitution des paramètres de l'enregistreur d'accident

1. REMARQUES :

Les heures indiquées sont calculées en fonction de la longueur en millimètres (mm), lue sur la bande photographique. La base de temps ne fonctionnait pas pour le vol concerné. Le calcul du temps a été fait sur une partie qui fonctionnait, de 100mm, en petite vitesse, et de 80mm, en grande vitesse, avec la correspondance suivante : Petite vitesse 3,133mm par minute, Grande vitesse 36mm par minute. Les horaires sont exprimés en heure locale, et ne sont pas synchronisés avec les horaires du radar (Annexe 2).

L'information de cap est inversée sur la grille (inversion de la référence supérieure et inférieure) et les valeurs semblent entachées d'une erreur d'environ 20° de moins que la valeur réelle (valeur lue 255° valeur réelle 275°).

Les informations d'altitude sont données par rapport à la référence 1013 hectopascals.

Les informations de Jz sont très bruitées et ne sont pas facilement exploitables, mais les valeurs trouvées sont toujours inférieures à 2 G.

2. DEROULEMENT DE LA PARTIE SIGNIFICATIVE DU VOL :

(Depuis la remise de gaz à Bergerac jusqu'à l'atterrissage à périgueux)

10h48min	Remise de gaz Vi 80Kt, Cap 255°, Z moins50ft.
10h49min	Montée continue en passant à Z 500ft à une vitesse de 140Kt en augmentation au Cap 255°. Défilement de la bande en Petite vitesse.
10h51min	Mise en virage à droite Cap 280°, Z 4000ft en montée, Vi 155Kt.
10h52min30s	Mise en virage à droite Cap 340°, Z 6000ft en montée, Vi 155Kt.
10h57min	Mise en palier Vi 140Kt en accélération Cap 340°, Z 10 000ft.
10h59min30s	Fin d'accélération, stabilisation en vitesse à Vi 165Kt, Cap 340°, Z 10 000ft.
11h01min30s	Passage du défilement en Grande vitesse, problème de défilement de bande (lié à l'incident ?). Mise en descente de l'appareil avec chute de vitesse et mise en virage par la droite (voir développement de la bande ci-après).
11h01min32,5s	Décélération en vitesse à 110Kt (passage de 165Kt à 110Kt en 1,5 mm de défilement de bande, ce qui correspondrait à 2,5 secondes, si la bande défile à Grande vitesse)
11h02min	Toujours en descente à 9000ft Cap 360° Vi 90Kt. Défilement de la bande en Grande vitesse?
11h03min30s	Mise en virage à droite Cap 030°, Z 7700ft en descente, Vi 90Kt.
11h04min	Stable au Cap 120°, Z 6500ft en descente, Vi 90Kt.
11h06min	Réduction de vitesse vers Vi 60/70Kt, Cap 130°, Z 4000ft en descente.
11h08min	Mise en palier Vi 110Kt, Cap 100°, Z 2000ft en légère montée. Défilement de la bande en Petite vitesse.
11h17min	Mise en virage par la droite et mise en descente Vi 115Kt, Cap 060°, Z 2400ft en descente.
11h19min	Stable au Cap 270°, en approche, Vi 105Kt en diminution, Z 2000ft en descente.
11h22min	Atterrissage au Cap 277°, Vi 80Kt, Z 100ft.
11h23min30s	Roulage, virage à gauche au Cap 180°, Z 100ft, Vi 40Kt. Coupure de l'enregistreur.

Exploitation des paramètres de l'enregistreur d'accident

