



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 13 juin 2007

RAPPORT PUBLIC D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-A-2006-014-A

Date de l'événement	13 juin 2006
Lieu	Surgères
Type d'appareil	Epsilon TB 30
Immatriculation	N° 15 F-SEUN
Organisme	Armée de l'air
Unité	Escadron de soutien technique spécialisé 15.315

AVERTISSEMENT

COMPOSITION DU RAPPORT

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

UTILISATION DU RAPPORT

L'objectif du rapport d'enquête technique est d'identifier les causes de l'événement et de formuler des recommandations de sécurité. En conséquence, l'utilisation exclusive de la deuxième partie de ce rapport et des suivantes à d'autres fins que celle de la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

TABLE DES MATIERES

<i>Avertissement</i>	2
<i>Table des matières</i>	3
<i>Table des illustrations</i>	5
<i>Glossaire</i>	6
<i>Synopsis</i>	7
1 Renseignements de base	9
1.1 Déroulement du vol.....	9
1.1.1 Mission.....	9
1.1.2 Contexte	9
1.1.3 Déroulement	9
1.1.3.1 Préparation du vol.....	9
1.1.3.2 Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'évènement.....	11
1.1.3.3 Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol	14
1.1.4 Localisation	15
1.2 Tués et blessés.....	15
1.3 Dommages à l'aéronef	15
1.4 Autres dommages.....	16
1.5 Renseignements sur le personnel	16
1.5.1 Membres d'équipage de conduite.....	16
1.5.1.1 Commandant de bord.....	16
1.5.1.2 Autres membres d'équipage	17
1.5.2 Autres personnels	17
1.6 Renseignements sur l'aéronef	17
1.6.1 Maintenance	18
1.6.2 Performances	18
1.6.3 Carburant.....	18
1.6.4 Autres fluides	18
1.7 Conditions météorologiques.....	19
1.7.1 Situation présumée	19
1.7.2 Observations.....	19
1.8 Aides à la navigation.....	19
1.9 Télécommunications	19
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	20
1.11 Enregistreurs de bord	20
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact.....	21
1.12.1 Examen de la zone.....	21
1.12.2 Examen de l'épave	22
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques.....	23
1.13.1 Membres d'équipage de conduite.....	23
1.13.1.1 Commandant de bord.....	23
1.13.2 Autres membres d'équipage	23
1.14 Incendie.....	23
1.15 Survie des occupants	23
1.15.1 Abandon de bord	23
1.15.2 Engagement d'un système d'arrêt	23
1.15.3 Organisation des secours	24
1.16 Essais et recherches.....	24
1.17 Techniques spécifiques d'enquête.....	24
2 Analyse	25
2.1 Investigations réalisées sur le motopropulseur.....	25
2.1.1 Constats effectués sur le moteur	25

2.1.2	Constats effectués sur le circuit d'huile.....	26
2.1.3	Analyse des fluides.....	27
2.1.3.1	Prélèvements effectués	27
2.1.3.2	Résultats de l'analyse de l'huile du moteur	27
2.1.3.3	Résultats de l'analyse du carburant.....	28
2.1.4	Investigations réalisées sur le groupe motopropulseur	28
2.1.4.1	Inventaire détaillé de l'embellage endommagé	28
2.1.4.2	Résultats de l'examen technique du moteur	32
2.1.4.3	Scénario d'endommagement possible de la bielle n° 5.....	34
2.2	Enoncé des hypothèses concernant les causes de l'évènement	35
2.2.1	La mise en évidence des symptômes décrits par le pilote	35
2.2.1.1	Hypothèse relative à la détérioration de la bielle n° 5	35
2.2.1.2	Hypothèse relative à la rupture de l'arbre à cames	36
2.2.2	La recherche des causes de la destruction des coussinets de la bielle n° 5.....	37
2.2.2.1	Hypothèse relative à la qualité des fluides.....	37
2.2.2.2	Hypothèse relative à un défaut de fonctionnement du circuit de lubrification.....	37
2.2.2.3	Hypothèse relative aux causes diverses de la destruction des coussinets de la bielle n° 5	37
2.3	Bilan des prélèvements d'huile effectués sur le moteur n°L2307848A	38
2.4	La gestion du déroutement et le choix de l'atterrissage en campagne	39
2.4.1	La gestion du déroutement	40
2.4.2	L'option de l'atterrissage en campagne.....	44
2.4.2.1	La prise de décision	44
2.4.2.2	L'exécution de l'encadrement du terrain choisi.....	45
3	Conclusion	47
3.1	Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement.....	47
3.2	Causes de l'évènement.....	47
4	Recommandations de sécurité	48
4.1	Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement	48
4.1.1	Maintenance du groupe motopropulseur	48
4.1.2	Procédures de secours.....	50
4.2	Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'évènement	51
4.2.1	Enregistreur de phonie.....	51
4.2.2	Abandon de bord	52
Annexe	53
1	Ordre particulier d'étude n° 02/03/epsilon	54
2	Circuit de lubrification du moteur AEIO540L1B5D	56
3	Description succincte de l'assemblage bielle maneton	57
4	Destruction intégrale des coussinets de la bielle n° 5	58
5	Les cassures du chapeau de la bielle n° 5	60
6	Examens métallurgiques de la bielle n° 5	61
7	Examens métallurgiques des manetons respectifs de la bielle n° 5 et de la bielle n° 6	62
8	Constitution des coussinets montés sur les biellettes	63
9	Graphe des différents métaux d'usure du moteur : Cu – Pb - Sn	64
10	Graphe des différents métaux d'usure du moteur : Al – Fe -Cr	65
11	Graphe des différents métaux d'usure du moteur : Si - Na	66

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure n° 1 : Secteurs d'entraînement à la voltige dans la R49A _____	page 10
Figure n° 2 : Estimation de la trajectoire du déroutement basée sur le témoignage du pilote _	page 14
Figure n° 3 : Figure n° 3 : Estimation des trajectoires du déroutement basées sur les témoignages des pilotes : Golf 1, 3 et 4 _____	page 43
Photo n° 1 : Atterrissage forcé _____	page 21
Photo n° 2 : Enlèvement de l'épave _____	page 22
Photo n° 3 : Liaison fuselage aile droite _____	page 22
Photo n° 4 : Pompe à huile en bon état _____	page 26
Photo n° 5 : Tête et chapeau de la bielle n° 5 reconstitués avec les caractéristiques des faciès, des cassures _____	page 29
Photo n°6 : Aspect du maneton de la bielle n° 5 usé en son milieu par les boulons de la bielle	page 30
Photo n°7 : Aspect des coussinets de la bielle n° 6 _____	page 31
Photo n°8 : Orifice de lubrification du maneton de la bielle n° 6 colmaté par métal anti-friction des coussinets _____	page 31
Photo n°9 : Un des deux boulons de la bielle n° 5 reliant les fragments brisés de la tête de bielle et du chapeau de bielle _____	page 33
Photo n°10 : Aspect des coussinets et bielles n°1, 2, 3 _____	page 38
Photo n° 11 : Prise de terrain à vue _____	page 46

GLOSSAIRE

BA	Base aérienne
BEAD-air	Bureau enquêtes accident défense air
BGA	Brigade de gendarmerie de l'air
CEAA	Commandement des écoles de l'Armée de l'Air
CEPr	Centre d'essais des propulseurs
EMAA	État major de l'Armée de l'Air
EPAA	École de pilotage de l'Armée de l'Air
EPI	Enquêteur de première information
ESTS	Escadron de soutien technique spécialisé
Ft	<i>Feet</i> Pied (1 ft \approx 0,305 m)
Kt	<i>Knot</i> Nœud (1 kt \approx 1,852 km/h)
MP3	<i>Motion pictures expert group level 3</i> , groupe ayant défini des standards de compression d'images animés. C'est un standard numérique de codage et décodage du son. Par abus de langage le terme désigne aussi le lecteur enregistreur qui utilise ce système d'encodage
NTI 3	Niveau technique d'intervention 3
Padm	Pression d'admission
QNH	Indique la pression ramenée au niveau de la mer
SEA	Service des essences des armées
VHF	<i>Very high frequency</i> Très haute fréquence

SYNOPSIS

- Date de l'événement : le mardi 13 juin 2006 à 14h55¹ ;
- Lieu de l'événement : lieu-dit « La Lebaudière », commune de Genouillé (Charente-Maritime (17) ;
- Organisme : armée de l'air ;
- Commandement : commandement des écoles de l'armée de l'air (CEAA) ;
- Unité : escadron de soutien technique spécialisé 15.315 (ESTS) ;
- Aéronef : Epsilon TB 30 ;
- Nature du vol : évaluation et comparaison des performances de l'Epsilon et du Tamiz ;
- Nombre de personnes à bord : 2.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

L'Epsilon n° 15 décolle de la base aérienne (BA) de Cognac le mardi 13 juin 2006 à 14h18. L'équipage est composé d'un moniteur de l'école de pilotage de l'Armée de l'Air (EPAA) en place avant et d'un pilote espagnol en place arrière. Confronté à une panne moteur après 37 min de vol, le moniteur initie un déroutement. La panne s'aggrave, le moteur ne délivre plus de puissance, alors le moniteur décide d'effectuer un atterrissage en campagne. L'avion se pose dans un champ de blé, une fois immobilisé, la procédure d'évacuation rapide au sol est réalisée. Les deux pilotes sont indemnes.

¹ Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heures locales.

Composition du groupe d'enquête technique

- Un enquêteur technique du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air), nommé enquêteur désigné ;
- Un enquêteur du BEAD-air, adjoint à l'enquêteur désigné ;
- Un enquêteur de première information (EPI) ;
- Un officier pilote ayant une expertise sur Epsilon TB 30 ;
- Un sous-officier mécanicien ayant une expertise sur Epsilon TB 30 ;
- Un médecin du personnel navigant.

Autres experts consultés

- Centre d'essais des propulseurs (CEPr) ;
- Laboratoire du service des essences des armées (SEA).

Déclenchement de l'enquête technique

Le bureau maîtrise des risques de l'EMAA² a prévenu par téléphone le BEAD-air, le 13 juin 2006 vers 15h30, et a confirmé l'évènement aérien par message.

L'enquête a été déléguée à un EPI sous la responsabilité d'un enquêteur du BEAD-air.

Enquête judiciaire

- Le Procureur près le tribunal de grande instance de Poitiers s'est saisi de l'évènement ;
- Un officier de police judiciaire de la brigade de gendarmerie de l'air (BGA) de Rochefort a été commis.

² EMMA : État major de l'armée de l'air.

1 RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

1.1.1 Mission

Indicatif mission	RAFIOT GOLF
Type de vol	COM V³
Type de mission	Evaluation et comparaison des performances entre l'Epsilon et le Tamiz.
Dernier point de départ	Cognac
Heure de départ	14h 18
Point d'atterrissage prévu	BA 709 - Cognac

1.1.2 Contexte

La mission a pour objectif le partage de connaissance et l'évaluation mutuelle des performances des deux types d'avion Epsilon et Tamiz au cours d'une séance de voltige en isolé et d'effectuer à l'issue du rassemblement un passage à la verticale de la base aérienne de Cognac en formation «diamant». La patrouille programmée est composée de cinq avions (3 Epsilon, 2 TAMIZ) en équipage⁴ mixte.

1.1.3 Déroulement

1.1.3.1 Préparation du vol

Le briefing de la mission mixte « TAMIZ – TB30 Epsilon » a lieu le mardi 13 juin 2006 une heure avant le décollage. Cinq avions sont prévus, trois Epsilon et deux TAMIZ. La séance de voltige se déroule dans le secteur 13X de la zone de travail (voir carte ci-dessous).

³ COM V : Circulation opérationnelle militaire de type Victor (vol à vue).

⁴ Equipage sur Tamiz : pilote espagnol en place avant, pilote français en place arrière.
Equipage sur Epsilon : pilote français en place avant, pilote espagnol en place arrière.

Les axes de travail sont répartis de la façon suivante : Leader (Epsilon) en 13H, Golf 2 (Tamiz) en 13E, Golf 3 (Epsilon) en 13F, Golf 4 (Epsilon) en 13D. Lors de la mise en route, un TAMIZ est tombé en panne.

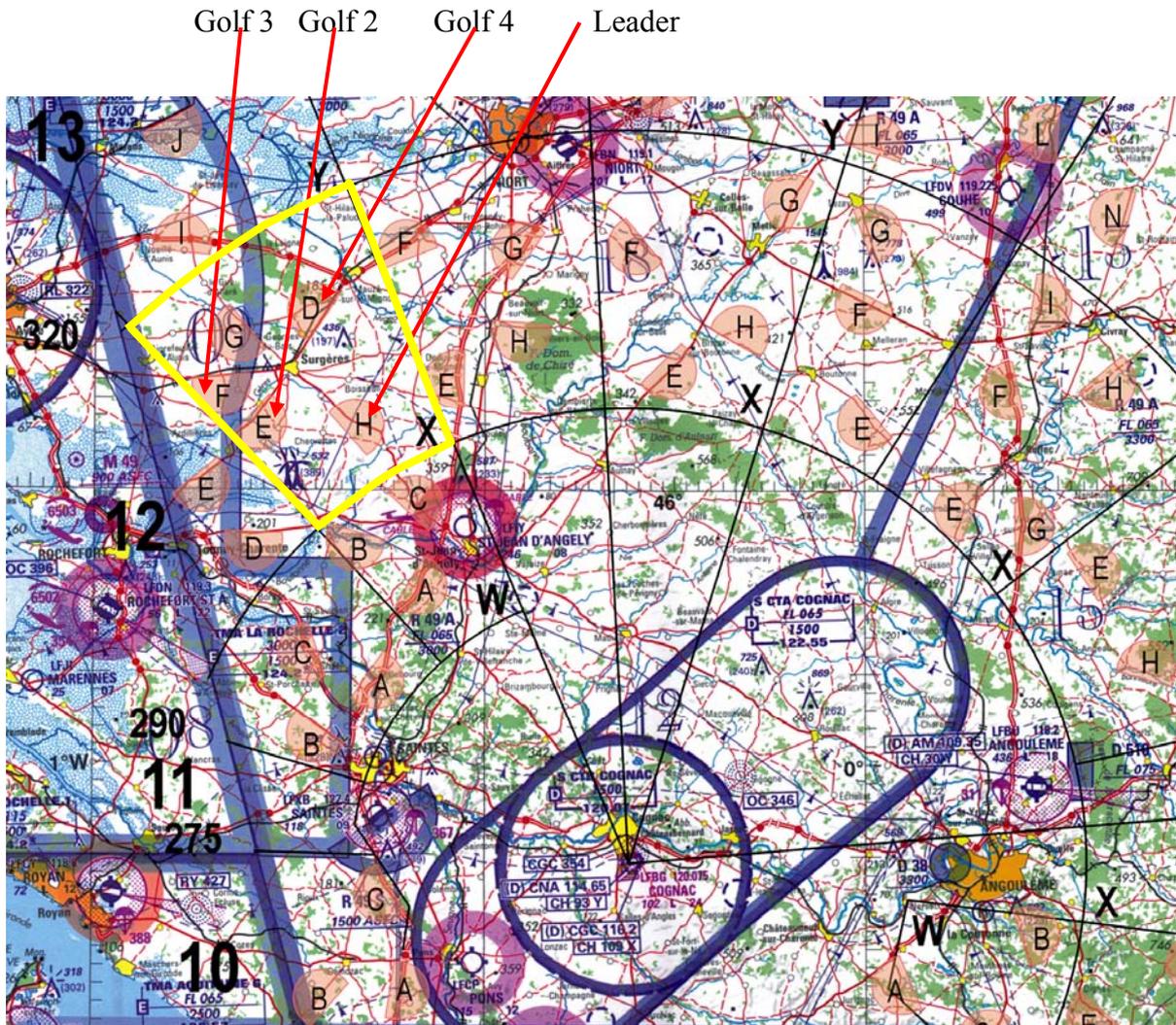


Figure n°1: Secteurs d'entraînement à la voltige dans la R49A.

1.1.3.2 Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'évènement

La patrouille transite à 1500 ft⁵ QNH⁶ en FMO⁷ vers la zone de travail 13X et se sépare au niveau de l'axe 13H. L'Epsilon n° 15 (Golf 4) prend le cap vers l'axe 13D sur lequel il effectue la séance de voltige qui comprend les figures suivantes : tonneau lent, manœuvres en roulis, boucle, tonneau « barriqué », baquet (-1 g) et des virages serrés (4 g /160 kt⁸).

Les évolutions sont terminées au bout de trente minutes de vol. Le rassemblement est prévu à la verticale de Surgères (FL⁹ 50/ 14h50). L'Epsilon étant au FL 35, la montée se fait en chandelle vers le FL 50. Tous les paramètres sont normaux, le réservoir¹⁰ gauche est sélectionné. Au niveau FL 50, cap 220°, vers le point de rendez-vous, la recherche du visuel des équipiers est en cours. Le visuel est effectif d'abord sur un avion, puis trois (les appareils étant étagés de 500 pieds : le leader à 3000 ft QNH, Golf2 à 3500 ft QNH, Golf3 à 4000 ft QNH). Au moment d'annoncer le visuel sur tous les avions, à 14h 51, le pilote entend un premier bruit sourd provenant du moteur. Il constate simultanément :

- l'allumage du voyant « PANNE¹¹ » (rouge) ;
- le voyant « PRESS HUILE¹² » allumé au tableau d'alarme ;
- de très fortes vibrations empêchant la lecture des écritures (voyant pression identifié car celui-ci se situe en bas à droite).

Le pilote regarde la température de l'huile et constate que l'aiguille de l'instrument est dans la plage rouge à environ 120°C (les très fortes vibrations rendent la lecture difficile).

Il positionne la manette de gaz sur plein réduit. La pression d'admission (Padm) baisse, l'aiguille de l'indicateur affiche une valeur inférieure à 350 mbar.

⁵ Ft: *feet*, pied (1 ft ≈ 0,305 m).

⁶ QNH : indique la pression ramenée au niveau de la mer.

⁷ FMO : formation de manœuvre offensive.

⁸ Kt: *knot*, noeud (1 kt ≈ 1,852 km/h).

⁹ FL : *flight level*, niveau de vol.

¹⁰ Le sélecteur de réservoir se situe sur la banquette droite au poste avant.

¹¹ Le voyant rouge « PANNE » est situé sur le haut droit de chaque planche de bord. Les voyants d'alarmes sont à bouton-poussoir, ce qui permet d'effacer l'alarme « PANNE » et de la rendre à nouveau utilisable.

¹² Le voyant « PRESS HUILE » : voyant de couleur rouge qui s'allume lorsque la pression huile est inférieure à 1.75 bar. Il est situé sur le tableau voyants alarmes.

L'intensité des vibrations rend très difficile la lecture du cap; celle-ci est estimée à 30° près. Le pilote annonce à la radio (VHF¹³ interne patrouille 140,02 MHz) aux Rafiot Golf : «J'ai un voyant pression d'huile». Il annonce à la place arrière en anglais : «We have a failure ». Il appuie sur le voyant « PRESS HUILE » pour éteindre le voyant « PANNE ». Il met l'avion en descente pour maintenir la vitesse de 140 kt, afin de refroidir le moteur et de le préserver.

Dès l'annonce de Golf 4 relative au voyant pression d'huile, Golf 3 fait demi-tour pour assister Golf 4.

Suite à la baisse de la température de l'huile à 110°C, le pilote agit une première fois sur la manette de commande de l'hélice pour diminuer les vibrations. Cette action n'a aucun effet. Il agit de nouveau sur la manette hélice pour afficher 2500 tr/min, puis sur la manette de gaz pour afficher la P_{adm} à 450 mbar, de façon à diminuer les vibrations et récupérer un peu de puissance. Cette action a pour conséquence immédiate l'augmentation de la température.

Golf 3, qui est toujours à la recherche du visuel de Golf 4, décide de le diriger vers St Jean d'Angély. Il lui demande de prendre le cap 130°.

La difficulté de lire le cap avec précision, due aux vibrations et celle de rechercher la procédure de la panne dans le mémento de l'équipage, amène Golf 4 à suivre la route de Muron (cap 210°) et non celle de St Jean d'Angély qui elle est au cap 120°. Il se produit un deuxième bruit après l'annonce du déroutement. La P_{adm} à l'indicateur est de 999 mbar. Cette pression correspond à une manette sur plein gaz, alors que la manette est positionnée pour une valeur de 450 mbar. La manette de gaz devient inefficace aussi bien en réduction qu'en augmentation. Le pilote positionne la manette sur plein réduit. Il se rend compte que la route qu'il suit n'est pas celle de St Jean d'Angély et affiche une V_i¹⁴ de 110 kt (vitesse de finesse maximale mentionnée dans le mémento de l'équipage MCE 122).

Au FL 22, il annonce à Golf 3 qu'il va procéder à un atterrissage en campagne et dit en anglais au pilote espagnol en place arrière : « Prepare for emergency landing ». Il choisit un champ d'une longueur d'environ 700 mètres dont l'axe d'approche est dégagé. Le pilote espagnol confirme que le choix est bon.

¹³ VHF : *very high frequency*, très haute fréquence.

¹⁴ V_i : vitesse indiquée.

Le pilote effectue un atterrissage par une prise de terrain en « U » du champ. A 90° du cap envisagé, il considère que le champ est assuré. La configuration de l'avion est : train rentré, volets sortis à 25°.

L'avion touche le sol et stoppe sa course au bout de 65 mètres, proche du lieu-dit « La Lebaudière ». A cet instant le pilote annonce à la radio à 14h57, sur la fréquence particulière (140,02 MHz) : « tout va bien, on évacue ». Le pilote applique la procédure d'évacuation d'urgence au sol selon le mémento de l'équipage MCE 122. Il annonce à la voix l'évacuation du pilote en place arrière. Un ouvrier travaillant à la ferme arrive sur place avec un extincteur.

Le pilote, en place avant, une fois sorti de l'appareil, prévient avec son téléphone portable un personnel de l'escadron pour que celui-ci rende compte de l'évènement au directeur des vols.

Après avoir jugé qu'il n'y avait plus de risque, le pilote effectue les actions de mise en sécurité des verrières.

1.1.3.3 Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol

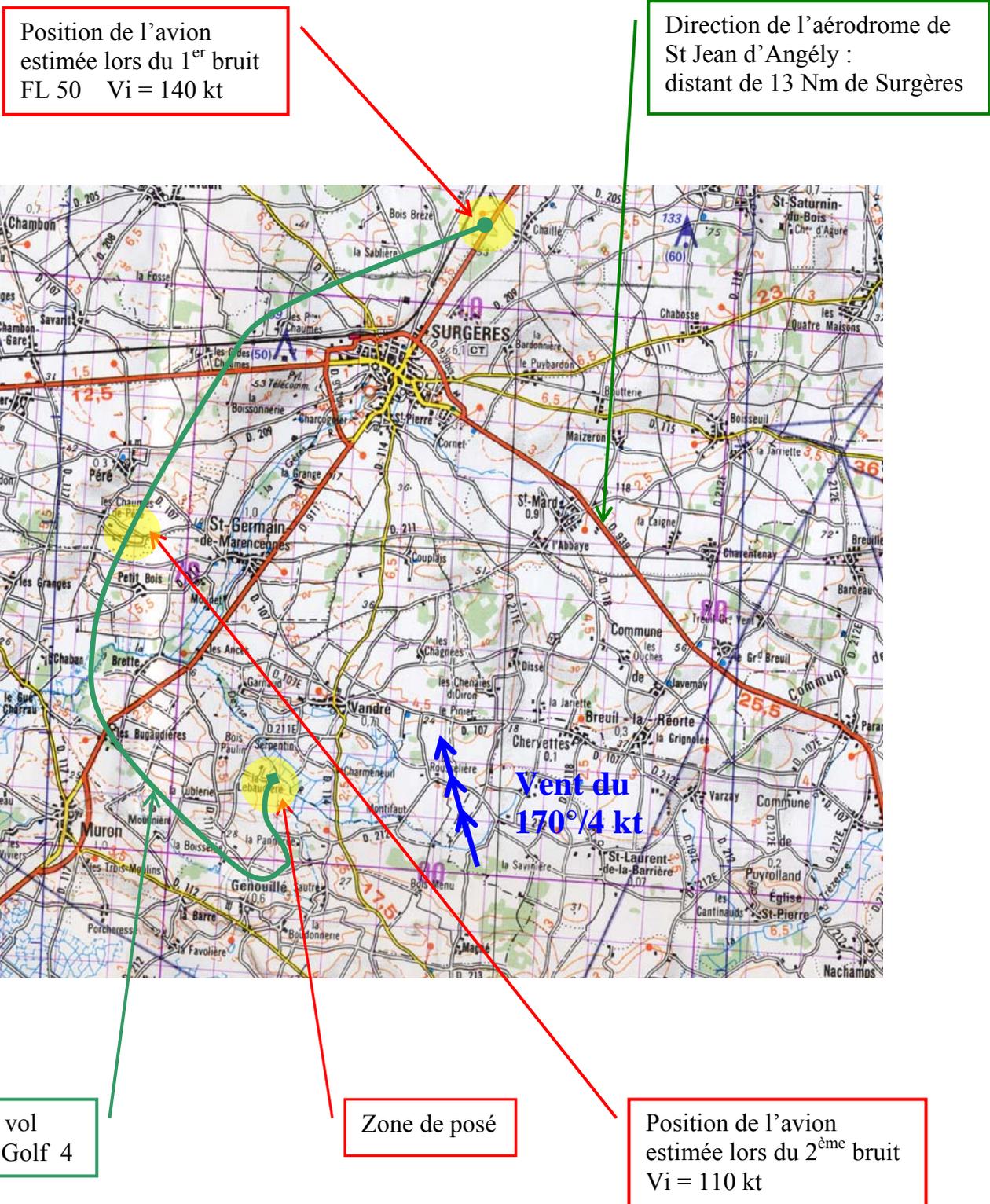


Figure n°2 : Estimation de la trajectoire du déroutement basée sur le témoignage du pilote

1.1.4 Localisation

➤ Lieu : La Lebaudière ;

⇒ pays : France ;

⇒ département : Charente Maritime (17) ;

⇒ commune : Genouillé ;

⇒ coordonnées géographiques :

▪ N 46° 02' 30'' ;

▪ W 00° 46' 50''.

⇒ altitude du lieu de l'événement : 26 mètres.

➤ Moment : ⇒ jour.

⇒ Aéroport le plus proche au moment de l'événement : St Jean d'Angély à moins de 15 Nm¹⁵ dans le 110° du lieu de l'événement.

1.2 Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles			
Graves			
Légères	2		
Aucunes			

1.3 Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
		x		

¹⁵ Nm : *nautical miles*, mille nautique (1 Nm ≈ 1852 m).

1.4 Autres dommages

A l'atterrissage, l'avion a détruit le blé sur une surface d'environ 650 m². Aucune pollution du champ n'a été mise en évidence.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1 Commandant de bord

- Âge : 28 ans ;
- Unité d'affectation : EPAA 00.315 :
 - ⇒ fonction dans l'unité : moniteur ;
 - ⇒ Formation :
 - qualification : sous chef de patrouille et sous chef moniteur ;
 - école de spécialisation : école de l'aviation de chasse (EAC), Tours ;
 - année de sortie d'école : 2000.
 - ⇒ Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Sur EPSILON	Sur tous types	Sur EPSILON	Sur tous types	Sur EPSILON
Total	1053h30	322h00	87h05	87h05	20h25	20h25
Dont nuit	150h00	14h45	6h45	6h45	1h15	1h15

- Date du dernier vol comme pilote :
 - ⇒ sur l'aéronef : Epsilon
 - de jour : 09 juin 2006 ;
 - de nuit : 01 juin 2006.

- Carte de circulation aérienne :
 - ⇒ type : Carte verte ;
 - ⇒ date d'expiration : 19 septembre 2006.

1.5.1.2 Autres membres d'équipage

En visite d'échange avec un détachement à l'EPAA 00.315, un officier de nationalité espagnole, pilote sur TAMIZ occupe la place arrière.

1.5.2 Autres personnels

Le chef de patrouille totalise 900 heures sur Epsilon et il est passé chef moniteur le 31 août 2005.

Le pilote en place avant de Golf 3, qui prête assistance à Golf 4, totalise 683 heures.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : Armée de L'air ;
- Commandement organique d'appartenance : Commandement des écoles de l'armée de l'air (CEAA) ;
- Base aérienne de stationnement : BA 709 de Cognac ;
- Unité d'affectation : ESTS 15.315 ;
- Type d'aéronef : Epsilon TB 30.

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis	Heures de vol depuis
Cellule	Epsilon TB 30	15	4410h50	GV ¹⁶ effectuée le 10/01/01 à 310h15	VP ¹⁷ effectuée le 10/01/05 à 4078h25
Hélice	HC-C2YR4CF	AU10175B	731h05		
Moteur	Lycoming AEIO540L1B5D	L2307848A		1326h05	VCM ¹⁸ effectuée le 02/08/05 à 1092h50

1.6.1 Maintenance

L'examen de la documentation technique de l'Epsilon n° 15 témoigne d'un entretien conforme aux programmes de maintenance en vigueur.

1.6.2 Performances

Avant l'apparition de l'avarie sur le moteur, les performances du moteur ont été jugées nominales par le pilote.

1.6.3 Carburant

- Type de carburant utilisé : 100 LL essence avion (code OTAN F18) ;
- Quantité de carburant au décollage : 210 litres ;
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : 110 litres.

1.6.4 Autres fluides

Lors de la préparation pour le vol, il n'a pas été effectué de complément d'huile. La jauge à huile indiquait 10 litres. Seul un léger suintement au clapet en point bas du carter d'huile a été relevé lors de la réception du moteur au CEPr.

¹⁶ GV= grande visite.

¹⁷ VP= visite périodique.

¹⁸ VCM= visite complémentaire moteur.

1.7 Conditions météorologiques

1.7.1 Situation présumée

La Direction interrégionale sud-ouest de Météo France (cellule enquête accident) a communiqué des conditions météorologiques présumées sur le lieu de Genouillé (17) à 14h50 locales, le 13 juin 2006 (Météo France n'ayant pas de station sur le lieu considéré) :

- Conditions faiblement anticycloniques en air chaud ;
- 2 à 4/8 de Ci¹⁹ à 23000 ft ;
- Visibilité > 10 km ;
- Vent au sol de 170°/4 kt ;
- Température au sol + 29°C ;
- QNH : 1019 hPa.

1.7.2 Observations

L'observation de la station météorologique de Cognac a été réalisée à 14h00 locales:

- Vent moyen de 7 kt au 130 ;
- Visibilité > 10km ;
- Nébulosité 2/8 de cirrus, base à 25000 ft.

1.8 Aides à la navigation

Le radar centaure de la plateforme de Cognac n'était pas en service, il subissait une visite technique annuelle au moment de l'accident.

1.9 Télécommunications

Le pilote était en contact radio avec la patrouille sur la fréquence VHF particulière 140,02 MHz.

¹⁹ Ci : cirrus. Nuages séparés, en forme de filaments blancs et délicats ou de bancs ou de bandes étroites, blancs ou en majeure partie blancs.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

Sans objet.

1.11 Enregistreurs de bord

L'Epsilon n'est pas équipé d'un enregistreur de paramètres. En revanche un enregistreur de phonie est intégré aux équipements de vol de l'équipage. Pour des raisons de disponibilité de cordon MP3²⁰ et suite à la dérogation n° 585/ CEAA/EM/CQ/DSV du 23 février 2006, l'équipage n'était pas muni de ce type d'enregistreur.

²⁰ MP3 : *motion pictures expert group level 3*, groupe ayant défini des standards de compression d'images animés. C'est un standard numérique de codage et décodage du son. Par abus de langage le terme désigne aussi le lecteur enregistreur qui utilise ce système d'encodage.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.12.1 Examen de la zone

L'appareil atterrit dans un champ de blé en configuration trains rentrés et volets sortis à 25° et stoppe sa course 65 mètres après le premier impact sur la végétation.

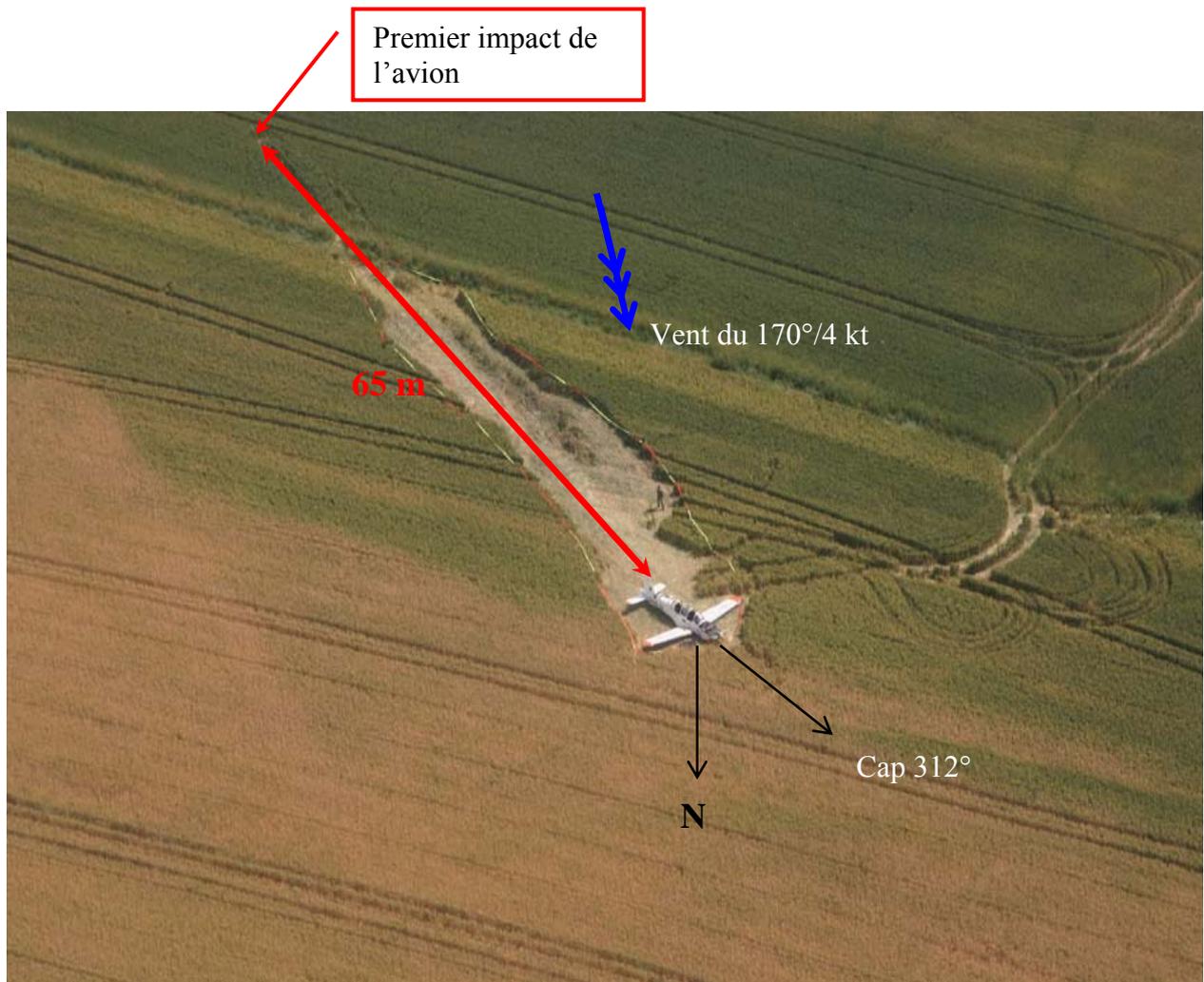


Photo n°1 : Atterrissage forcé.

1.12.2 Examen de l'épave

L'atterrissage en campagne a provoqué des déformations structurales non réparables sur toute la partie ventrale du fuselage et sur l'intrados de la voilure. L'aile droite a légèrement pivoté vers l'arrière, provoquant l'arrachement de la fixation arrière. Le moteur a subi quelques déformations au niveau des pots et des collecteurs consécutives à l'atterrissage. Aucune fuite d'huile ou de carburant n'est constatée.



Photo n° 2 : Enlèvement de l'épave.

Les deux pots
d'échappements
sont enfoncés



Photo n° 3 : Liaison fuselage aile droite.

Recul de l'aile droite
vers l'arrière du fuselage

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1 Membres d'équipage de conduite

1.13.1.1 Commandant de bord

- Dernier examen médical :
 - ⇒ type : CEMPN²¹ de Bordeaux ;
 - ⇒ date : 13 décembre 2005 ;
 - ⇒ résultat : apte 12 mois.
- Examens biologiques : effectués ;
- Blessures : légères.

1.13.2 Autres membres d'équipage

Le pilote espagnol est indemne. Aucune séquelle physique ou psychologique n'a été constatée.

1.14 Incendie

Néant.

1.15 Survie des occupants

1.15.1 Abandon de bord

Évacuation d'urgence au sol de l'avion effectuée par l'équipage.

1.15.2 Engagement d'un système d'arrêt

Sans objet.

²¹ CEMPN : centre d'expertises médicales du personnel navigant.

1.15.3 Organisation des secours

- 15h10 : L'approche de Cognac annonce la position de Golf 4 à Marina CCS²² (au 314° de Cognac pour 30 Nm) ;
- La direction des vols de la base de Cognac localise avec précision le lieu de l'accident ;
- 15h11 : Rassemblement des personnels de la base 709 pour créer la colonne de secours ;
- 15h12 : Marina CCS contacte le CODIS²³ de Charente-Maritime qui se situe à La Rochelle ;
- 15h31 : Le CODIS de Charente-Maritime contacte le centre de secours de Tonnay-Boutonne ;
- 15h25 : Départ de la colonne des secours de la base de Cognac (SSIS²⁴, infirmerie, BGA, GEJ²⁵) ;
- 15h 50 : Arrivée des premiers secours sur les lieux (sapeurs pompiers de Tonnay-Boutonne) ;
- 16h 45 : Arrivée de la colonne des secours de la base de Cognac sur le lieu de l'accident.

1.16 Essais et recherches

L'expertise du groupe motopropulseur et l'analyse des prélèvements d'huile moteur et de carburant ont été réalisées au CEPr.

1.17 Techniques spécifiques d'enquête

Sans objet.

²² Marina CCS : indicatif du centre de coordination et de sauvetage de la BA de Mont de Marsan.

²³ CODIS : centre opérationnel départemental d'incendie et secours.

²⁴ SSIS : section de sécurité incendie et sauvetage.

²⁵ GEJ : groupe d'entretien journalier.

2 ANALYSE

Les faits mentionnés au premier chapitre montrent que l'équipage a été confronté à une panne soudaine du moteur à l'issue d'une séance de voltige. Après avoir envisagé dans un premier temps le déroutement, l'équipage confronté très rapidement à une perte totale de puissance du groupe motopropulseur prend donc la décision d'effectuer un atterrissage en campagne.

L'analyse qui va suivre s'articule en trois parties :

- La première concerne les investigations réalisées sur le groupe motopropulseur ;
- La seconde traite de l'énoncé des hypothèses concernant les causes de l'évènement ;
- La troisième décrit la gestion du déroutement et de l'atterrissage en campagne.

2.1 Investigations réalisées sur le motopropulseur

Compte tenu des symptômes énoncés par le pilote (perte de puissance, allumage du voyant pression d'huile et bruits sourds perçus par le pilote), le BEAD-air a décidé d'effectuer les expertises techniques suivantes au CEPr de Saclay:

- Essence et huile moteur (référence de l'essai CEPr n°64 DAI 06 du 30 août 2006) ;
- Groupe motopropulseur (référence du rapport d'investigations CEPr n°66 DAI 06 du 14 septembre 2006).

Par ailleurs, les informations relatives aux prélèvements d'huile effectués sur le moteur seront exploitées conformément à l'ordre particulier d'étude N° 02/03/Epsilon du 16 septembre 2003 (annexe 1 : Ordre particulier d'étude n° 02/03/epsilon, page 54).

2.1.1 Constats effectués sur le moteur

L'examen extérieur du moteur révèle que celui-ci est dans un bon état apparent et ne présente aucun endommagement visible. Tous les équipements sont correctement connectés, seul un léger suintement est constaté au niveau du clapet en point bas du carter d'huile. La quantité d'huile présente dans le moteur est estimée à environ 10 litres. Les deux pales de l'hélice sont fléchies vers l'arrière à environ 30 cm de leur extrémité sans indice de puissance délivrée à l'impact.

Sollicité manuellement par l'hélice, le moteur tourne librement sans signe de compression des cylindres. Les commandes de puissance, de richesse, d'hélice et le volet de réchauffage sont libres en déplacement.

2.1.2 Constats effectués sur le circuit d'huile

- Le clapet à billes est encombré par une multitude de fragments provenant des coussinets des bielles n° 5 et n° 6.

C'est le premier élément du circuit de graissage qui se situe juste après la sortie du carter d'huile et à l'extérieur du moteur. Il est l'élément du système de vol inversé « Christen » (annexe 2 : Circuit de lubrification du moteur AEIO540L1B5D, page 56) ;

- La crépine située dans le circuit après le clapet à billes, est également fortement colmatée par des fragments provenant des mêmes coussinets ;
- Le filtre à huile et le séparateur d'huile quant à eux ne retiennent que peu de particules ;
- Le clapet thermostatique fonctionne correctement : sa plage de dilatation s'étend de 75 à 85°C ;
- La pompe à huile ne présente pas de particularité. Ses pignons sont dans un état correct sans usure anormale ;



Photo n° 4 : Pompe à huile en bon état.

- Les conduits de lubrification dans les carters sont transparents.

En conclusion :

La vérification des composants témoigne du bon fonctionnement du circuit de lubrification.

2.1.3 Analyse des fluides

2.1.3.1 Prélèvements effectués

Ils concernent :

- L'huile du moteur au niveau inférieur du carter ;
- L'huile du moteur par la jauge de remplissage du moteur ;
- L'huile restée contenue dans le séparateur d'huile ;
- Le carburant au niveau du filtre carburant ;
- Le carburant au niveau de l'aile gauche.

2.1.3.2 Résultats de l'analyse de l'huile du moteur

Les prélèvements d'huile sont fortement chargés en fer (teneur estimée supérieure à 200 ppm²⁶) et en aluminium (teneur supérieure à 100 ppm).

En conclusion :

Les prélèvements de lubrifiants correspondent à de l'huile XO-162. Les particules contenues dans les échantillons d'huile indiquent la dégradation de pièce(s) : en acier au carbone ou très faiblement allié d'une part, en alliage d'aluminium allié au silicium provenant d'une pièce de fonderie d'autre part (série 4000, ce type d'alliage fait partie de la composition des pistons et des carters).

²⁶ Ppm : particule par million.

2.1.3.3 Résultats de l'analyse du carburant

L'essence avion 100LL prélevée au niveau du « Le Bozec » (filtre carburant) et de l'aile gauche est conforme à la spécification DCSEA 118/B et ne présente pas d'anomalie sur les essais réalisés.

En conclusion :

Les prélèvements de carburant correspondent à une essence F-18. Ils ne présentent aucune anomalie.

2.1.4 Investigations réalisées sur le groupe motopropulseur

Les travaux de démontage du moteur effectués par le CEPr ont permis de constater que l'essentiel des dégâts, ayant causé le dysfonctionnement et l'arrêt du moteur en vol, concerne l'embiellage²⁷. C'est pourquoi deux actions ont été menées afin de rechercher la cause de l'endommagement :

- tout d'abord un inventaire détaillé de chaque pièce de l'embiellage endommagé ;
- ensuite un examen technique approfondi de l'embiellage.

2.1.4.1 Inventaire détaillé de l'embiellage endommagé

- La bielle n° 5 (annexe 3 : Description succincte de l'assemblage bielle maneton, page 57). Elle est brisée en plusieurs morceaux, notamment le corps de bielle qui est rompu à environ 50 mm de la tête de bielle et au droit des bossages des boulons de fixation ;
- La tête de bielle est complètement détruite. Les différents fragments ont un aspect plus ou moins brillant, dû aux chocs et à leur martèlement par les composants du moteur en fonctionnement. Les cassures, matées, sont inexploitable ;
- Un des deux boulons est toujours en place avec son écrou, reliant les fragments brisés de la tête de bielle et du chapeau de bielle ;

²⁷ L'embiellage : il a pour rôle de transformer le mouvement de translation du piston en un mouvement de rotation de l'arbre moteur, par un système de bielle-vilebrequin.

- L'autre boulon est enserré dans le fragment du chapeau de bielle sans son écrou. Ce dernier a été récupéré brisé dans le carter d'huile. L'observation des filets du boulon et de l'écrou montre que ce dernier n'a pas été arraché. Il est peu probable qu'il se soit dévissé, compte tenu de l'absence d'endommagement des filets. On peut supposer que la rupture et la libération de l'écrou du boulon sont la conséquence de l'interférence entre des débris de la bielle avec les autres composants internes du moteur ;

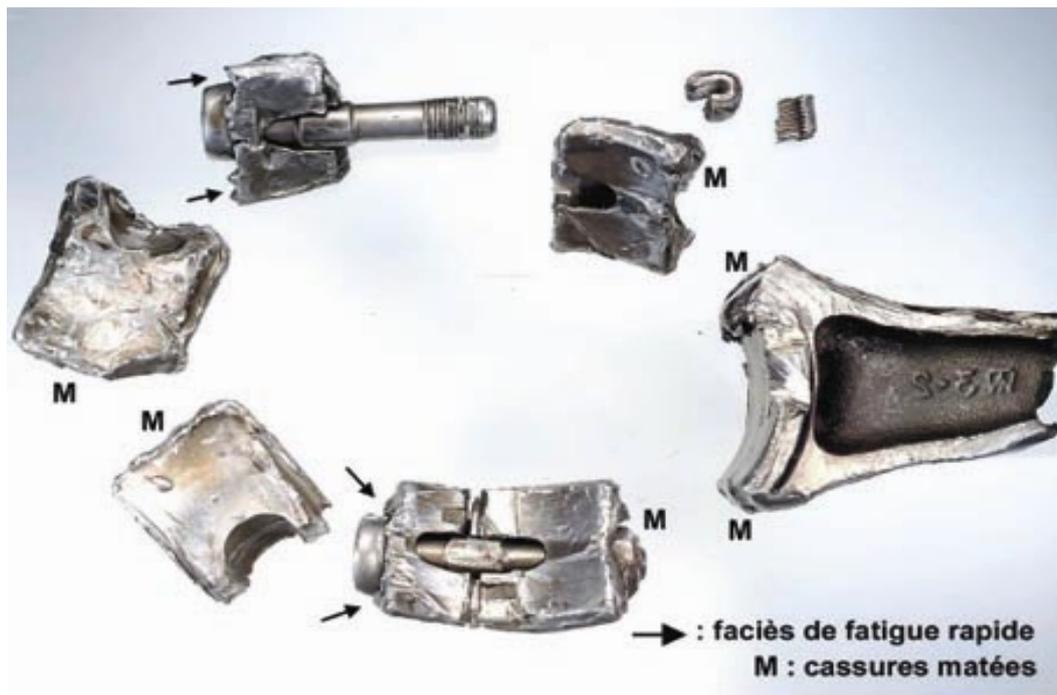


Photo n° 5 : Tête et chapeau de la bielle n° 5 reconstitués avec les caractéristiques des faciès, des cassures.

- Le chapeau de la bielle n° 5 s'est brisé au droit des deux bossages de fixation avec la bielle, ainsi qu'en son milieu ;
- Les deux coussinets de cette bielle sont entièrement détruits. Une multitude de petits fragments feuilletés du métal anti-friction et de leur enveloppe en acier a été récupérée dans le carter d'huile (annexe 4 : Destruction intégrale des coussinets de la bielle n° 5, page 58) ;

- Sur le vilebrequin, la zone centrale de la portée du maneton de la bielle n° 5 présente des rayures, traces de frottement sur 360° occasionnées par le contact entre la tête de cette bielle et les boulons ;

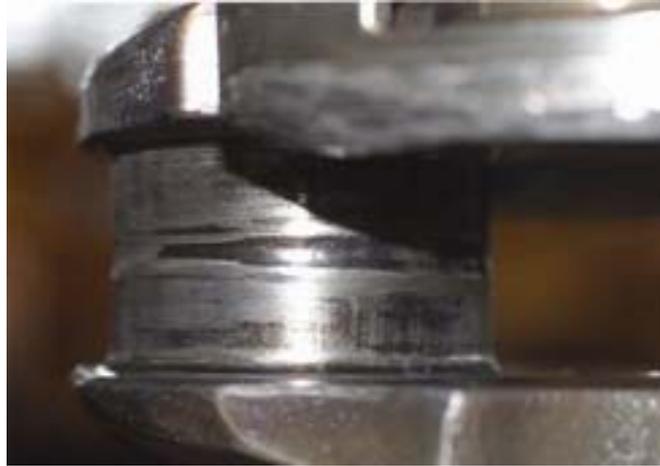


Photo n° 6 : Aspect du maneton de la bielle n° 5 usé en son milieu par les boulons de la bielle

- Bielle n° 6 :

La bielle n° 6 est toujours en place sur le maneton, liée à celui-ci par ses boulons équipés de leurs écrous non desserrés. Elle présente une coloration foncée, traduisant un échauffement non observé à ce stade sur la bielle n° 5. Ses coussinets sont restés en place, bien positionnés par leur ergot. Les deux coussinets présentent un endommagement avancé par arrachement de la garniture de métal anti-friction. L'orifice d'arrivée d'huile sur le maneton est totalement obstrué par un résidu d'alliage provenant de l'usure des coussinets de cette bielle. Ce colmatage de l'orifice du maneton n° 6 est dû à un problème de lubrification. La discontinuité de la lubrification s'est produite dans le circuit soit lors de la rupture de la bielle n° 5, soit à cause du jeu établi entre tête de bielle et le maneton respectif ;



Photo n° 7 : Aspect des coussinets de la bielle n° 6



Photo n° 8 : Orifice de lubrification du maneton de la bielle n° 6 colmaté par métal anti-friction des coussinets.

➤ Arbre à cames :

L'arbre à cames est brisé entre les soupapes d'admission et d'échappement du cylindre n° 6. Cette rupture est le résultat d'un choc entre l'arbre et un fragment éjecté de la bielle n° 5.



Photo n° 9 : Arbre à cames brisé entre les soupapes d'admission et échappement du cylindre n °6

2.1.4.2 Résultats de l'examen technique du moteur

Une investigation métallurgique a été effectuée sur les diverses pièces de l'embellage du moteur afin d'identifier d'éventuelles ruptures et de surchauffe. Un contrôle du serrage des boulons de bielle a été réalisé, ainsi qu'un contrôle métallurgique des coussinets.

- Une observation au microscope électronique à balayage a permis de mettre en évidence des petites plages de fatigue au niveau des deux cassures du chapeau de bielle (annexe 5 : Les cassures du chapeau de la bielle n° 5, page 60). Une telle fissuration s'est manifestement produite lorsque la bielle était sollicitée alternativement en traction à chaque tour du moteur, en raison du jeu anormal entre son alésage et le maneton du vilebrequin dû à la disparition progressive des coussinets ;
- Les examens métallurgiques des bielles, des manetons du vilebrequin et des coussinets n'ont révélé aucune particularité, hormis les dégradations et échauffements dus à l'évènement (annexe 6 : Examens métallurgiques de la bielle n° 5, page 61 ; annexe 7 : Examens métallurgiques des manetons respectifs de la bielle n° 5 et de la bielle n° 6, page 62) ;

- Des mesures de dureté ont été réalisées sur un fragment de l'écrou du boulon supérieur de la bielle n° 5. Les valeurs ont ensuite été comparées à celles réalisées sur un écrou intact de la bielle n° 4. Ces mesures montrent que l'écrou rompu a un niveau de résistance mécanique normal ;
- La longueur des boulons des bielles n° 1 à 4 est conforme au service instruction Lycoming 1458C en date du 03 mars 2006. Cette mesure n'a pas pu être appliquée sur les boulons de bielle n° 5 rompue ainsi que sur un des deux boulons de la bielle n° 6 car l'une de ses extrémités était matée. On peut supposer que les boulons des autres bielles n° 5 et 6 étaient correctement serrés avant l'évènement ;
- Une coupe micrographique et des analyses EDS/MEB²⁸ ont été réalisées sur un coussinet intact de la bielle n° 4 (annexe 8 : Constitution des coussinets montés sur les bielles, page 63). Les références des coussinets de la bielle n° 5 n'ont pas pu être relevées sur ces composants suite à leur destruction. ;
- Aucune trace de rotation des coussinets dans l'alésage de la bielle n° 5 n'est apparente et les encoches biseautées recevant des ergots de positionnement des coussinets ne sont pas endommagées. Ces deux faits montrent que les coussinets sont bien restés immobilisés pendant le processus d'usure. Cela prouve aussi que les deux boulons étaient serrés.

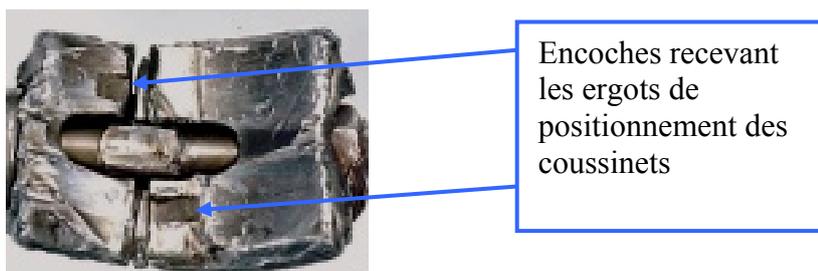


Photo n° 9 : Un des deux boulons de la bielle n° 5 reliant les fragments brisés de la tête de bielle et du chapeau de bielle.

²⁸ EDS/MEB : spectrométrie à dispersion d'énergie, couplée au microscope électronique à balayage.

En conclusion :

L'examen technique du moteur a permis de montrer que les pièces de l'embellage, hormis les dégradations et échauffements dus à la rupture de pièces, étaient conformes à leurs caractéristiques mécaniques. Le phénomène à l'origine de l'usure et de la destruction des coussinets de la bielle n° 5 n'a pu être identifié.

2.1.4.3 Scénario d'endommagement possible de la bielle n° 5

Chronologie supposée de l'endommagement de l'embellage du moteur :

- Destruction des coussinets (l'origine n'a pas été identifiée) ;
- Ejection des fragments des coussinets, y compris leurs enveloppes en acier ;
- A-coups et déformations engendrées sur le chapeau de bielle, dont la conséquence a provoqué la flexion des boulons vers l'extérieur ;
- A la disparition complète des coussinets, frottement des boulons sur le maneton et usure de ce dernier ;
- Rupture complète de la tête de la bielle n° 5, puis du corps de bielle ;
- Détériorations consécutives :
 - ⇒ Rupture de l'arbre à cames ;
 - ⇒ Lubrification défectueuse sur les autres bielles et début de la destruction des coussinets de la bielle n° 6.

En conclusion :

Les dégâts sur l'embellage du moteur ont pour origine la détérioration des coussinets de la bielle n° 5.

2.2 Enoncé des hypothèses concernant les causes de l'évènement

- Mise en évidence des symptômes décrits par le pilote :
 - ⇒ 1^{er} bruit : Endommagement de la bielle n° 5 ;
 - ⇒ 2^{ème} bruit : Rupture de l'arbre à cames.
- Domaines de recherche des causes relatives à l'endommagement des coussinets de la bielle n° 5 :
 - ⇒ La qualité des fluides ;
 - ⇒ Un défaut de fonctionnement du circuit de lubrification ;
 - ⇒ Autres causes diverses.

2.2.1 La mise en évidence des symptômes décrits par le pilote

2.2.1.1 Hypothèse relative à la détérioration de la bielle n° 5

- déroulement du processus :
 - ⇒ Lors de la destruction des coussinets, un jeu s'est établi entre le maneton et l'alésage de la tête de bielle n° 5, alors que le vilebrequin tourne à la vitesse de rotation nominale de 2500 tr/min. A la disparition complète des coussinets, le jeu important entre la tête de bielle et le maneton provoque des chocs et des surcharges élevées sur la tête de bielle, jusqu'à la rupture de celle-ci. L'équilibrage du vilebrequin a été rompu, générant des vibrations importantes, la perte d'un cylindre, et par conséquent la diminution de la puissance délivrée par le moteur. Les fragments de bielle ainsi libérés ont perforé les carters;
 - ⇒ Les coussinets se dégradant, le jeu a augmenté entre la tête de bielle et le maneton respectif et provoque la rupture du film d'huile sur chacune des pièces et la chute de pression dans le circuit de lubrification. Cette dernière a provoqué l'allumage du voyant pression d'huile aux postes de pilotage.

En conclusion :

La rupture de la bielle n° 5 a provoqué successivement le premier bruit, la perte de puissance du moteur, les fortes vibrations et l'allumage du voyant pression d'huile.

En conséquence, l'hypothèse que la destruction des coussinets ait provoqué la rupture de la bielle n° 5 est RETENUE.

2.2.1.2 Hypothèse relative à la rupture de l'arbre à cames

Lorsque le pilote annonce le 2^{ème} bruit, il visualise une indication de pression d'admission de 999 mbar et agit sur la manette des gaz dont il constate l'inefficacité.

La pression d'admission affichée correspond à la pression atmosphérique. La Padm, en effet, mesure la dépression provoquée lors de l'aspiration de l'air par les soupapes d'admission des cylindres. Cette mesure est prise sur la pipe d'admission du cylindre n° 5 qui se trouve reliée au boîtier d'induction comme les cinq pipes des autres cylindres.

Le fait que la Padm indiquée soit égale à la pression atmosphérique, alors qu'elle mesure la pression d'admission du cylindre n° 5, permet de déduire que l'aspiration d'air n'est plus réalisée sur l'ensemble des cylindres.

L'arbre à cames est sectionné entre les soupapes d'admission et d'échappement du cylindre n° 6. Les soupapes d'admission d'air ne sont plus actionnées. Le cycle de fonctionnement du moteur est rompu (admission, compression, combustion détente et échappement) et par conséquent le moteur ne délivre plus de puissance.

En conclusion :

L'hypothèse que la rupture de l'arbre à cames ait provoqué le 2^{ème} bruit perçu par le pilote ainsi que la perte de la pression d'admission, est RETENUE.

2.2.2 La recherche des causes de la destruction des coussinets de la bielle n° 5

2.2.2.1 Hypothèse relative à la qualité des fluides

L'huile du groupe motopropulseur était conforme en quantité et en qualité, de même que l'essence contenue dans le circuit carburant.

En conséquence, l'hypothèse que la qualité des fluides utilisés ait conduit au dysfonctionnement du moteur est REJETÉE.

2.2.2.2 Hypothèse relative à un défaut de fonctionnement du circuit de lubrification

Bien qu'aucune défaillance des composants du circuit de lubrification du moteur n'ait été mise en évidence, une rupture du film d'huile peut avoir contribué à la dégradation des coussinets de la bielle n° 5.

En conséquence, l'hypothèse que le circuit de lubrification dans les phases en vol acrobatique ait conduit au dysfonctionnement du moteur est POSSIBLE.

2.2.2.3 Hypothèse relative aux causes diverses de la destruction des coussinets de la bielle n° 5

Cette destruction a été décrite au supra 2.1.4.1 (Un inventaire détaillé de l'embiellage endommagé). Lors de la dernière révision générale du 21 novembre 1999 au 09 mars 2000, les douze coussinets ont été changés. Au moment de l'accident les coussinets cumulaient 1326h de fonctionnement. Le moteur disposait d'un potentiel de 74h avant sa prochaine révision générale (la révision générale du moteur est effectuée toutes les 1400 heures de fonctionnement). Aucune trace de fusion n'a été identifiée sur les particules de la garniture d'alliage anti-friction de ces coussinets.

Les coussinets des bielles n° 1, 2, 3 et 4, présentent un début d'usure non critique dans leurs secteurs situés dans l'axe des bielles.



Photo n° 10 : Aspect des coussinets et bielles n °1, 2, 3.

En conclusion, l'hypothèse que la destruction des coussinets de la bielle n° 5 soit due :

- ❖ à une fatigue éventuelle sur le chapeau de la bielle n° 5 est **REJETEE** ;
- ❖ au desserrement des boulons de la tête de bielle est **REJETEE** ;
- ❖ à une insuffisance de lubrification sur la tête de la bielle n° 5 est **POSSIBLE** ;
- ❖ à une usure anormale des coussinets sur un jeu de pièces de fabrication défectueuse est **PROBABLE**.

2.3 Bilan des prélèvements d'huile effectués sur le moteur n°L2307848A

Conformément à l'ordre particulier d'étude N° 02/03/Epsilon du 16 septembre 2003, le moteur a fait l'objet de prélèvements d'huile toutes les 25 heures de fonctionnement. A l'issue de chaque prélèvement une analyse spectrométrique de l'huile est réalisée auprès du laboratoire du service des essences des armées afin de déterminer la teneur en particules métalliques. Des graphes des différents métaux d'usure concernant le moteur n° L2307848A, reflètent les résultats des analyses (annexe 9 : Graphe des différents métaux d'usure du moteur : Cu – Pb - Sn, page 64 ; annexe 10 : Graphe des différents métaux d'usure du moteur : Al – Fe -Cr, page 65 et annexe 11 : Graphe des différents métaux d'usure du moteur : Si - Na, page 66).

La dernière analyse réalisée a révélé une brusque augmentation de la teneur en aluminium²⁹ (annexe 10 : Graphe des différents métaux d'usure du moteur : Al – Fe -Cr, page 65). La teneur en étain avait atteint la limite basse du seuil de tolérance (annexe 9 : Graphe des différents métaux d'usure du moteur : Cu – Pb - Sn, page 64). L'évolution de la teneur en étain n'était pas assez élevée pour provoquer une intervention technique (annexe 8: Constitution des coussinets montés sur les bielles, page 63).

L'usure la plus alarmante et la plus à même de se développer rapidement concerne la dégradation progressive des coussinets. Bien que le graphe de la teneur en aluminium fasse apparaître une évolution des teneurs de ce métal dans les prélèvements d'huile, leurs valeurs sont restées dans les tolérances et n'ont, de ce fait, pas engendré de mesure technique corrective.

En conclusion :

2.4 La gestion du déroutement et le choix de l'atterrissage en campagne

L'analyse est fondée sur les témoignages du pilote en place avant de Golf 4, de Golf 3 qui prête assistance et du leader de la patrouille. La restitution de la trace radar des aéronefs relative à la zone l'évènement a été communiquée (CDC³⁰ de Mont de Marsan), de même que la transcription des échanges radio de l'approche de Cognac. Pour des raisons de disponibilité de cordon MP3 et suite à la dérogation n° 585/CEAA/EM/CQ/DSV du 23 février 2006 qui a été accordée, les équipages n'étaient pas munis de ce type d'enregistreur. L'exploitation des conversations radio sur la fréquence particulière (VHF 140,02 MHz) n'a pu donc être réalisée.

²⁹ Les pièces d'usures constituées d'alliage à base d'aluminium sont diverses : pistons, pastilles de frottement d'axe du piston, pignon mené de la pompe à huile et la culasse du cylindre, coussinets de bielle et de vilebrequin.

³⁰ CDC : centre de détection et de contrôle.

2.4.1 La gestion du déroutement

- Déclenchement du déroutement à 14h51 (*repère 1 de la carte relative à l'estimation des trajectoires estimées du déroutement, page 43*) :
 - ⇒ Golf 1, 2, 3, sont déjà rassemblés sur un cap moyen 210° dans le 200° de Surgères pour environ 3 Nm. Golf 4 est sur un cap moyen 210° dans le 030° de Surgères pour environ 1,5 Nm ;
 - ⇒ A l'annonce de Golf 4 sur la fréquence particulière (VHF 140,02MHz) à la patrouille « J'ai un voyant pression d'huile », Golf 3 quitte de sa propre initiative la formation pour prêter assistance. Confronté au traitement d'une panne grave, Golf 4 essaie en premier lieu de réduire les très importantes vibrations engendrées par le moteur. Le code « 7700 » n'est pas affiché au transpondeur ;
 - ⇒ Golf 1, leader de la patrouille, confirme sur la fréquence particulière la décision de Golf 3 d'assister Golf 4. Il contacte l'approche de Cognac pour annoncer le déroutement sur Saint Jean d'Angély de Golf 3 et Golf 4 qui est en panne moteur. Ensuite il minimise les communications radio au sein de la patrouille, et estime que Golf 3 applique correctement les procédures. Il renseigne cependant le chef du détachement espagnol qui occupait la place arrière sur le déroulement des évènements ;
 - ⇒ Golf 3 effectue un virage à grande inclinaison de 180° en pensant acquérir rapidement le visuel sur Golf 4 (*repère 2 de la carte de l'estimation des trajectoires du déroutement, page 43*) ;
 - ⇒ Golf 3 n'ayant toujours pas Golf 4 en vue, il lui demande de se dérouter vers le terrain de Saint Jean d'Angély et recommande un cap 130 ;
 - ⇒ Golf 4 contourne la ville de Surgères par le nord-ouest tout en essayant de réduire les vibrations du moteur et de diminuer la température huile. La lecture des instruments de la planche de bord est rendue très difficile suite aux vibrations, l'indication de cap est peu précise, le pilote pense à ce moment être sur la direction de Saint Jean d'Angély ;

- ⇒ Golf 3 demande à Golf 4 sa position par rapport à la balise Tacan³¹ de Cognac et son altitude. Il ne retient que l'altitude de Golf 4 qui est de 5000 ft. L'indicateur Tacan est soumis de même aux vibrations ; la lecture est rendue difficile et approximative. Golf 3 estime que Golf 4 se trouve devant lui et au-dessus. Il poursuit sur un cap « 090°-100°, stable à 4000 ft » ;
- ⇒ Golf 3 redemande à Golf 4 sa position par rapport à Cognac et ajoute : « Tu vois la route vers Saint Jean d'Angély, cap 130°, on la suit » ;
- ⇒ Golf 3 effectue un virage pour suivre la route qui mène à Saint Jean d'Angély (**repère 3 de la carte de l'estimation des trajectoires du déroutement, page 43**) ;
- ⇒ Au même moment Golf 4 annonce : « j'ai eu une deuxième explosion, température huile secteur rouge, manette inefficace » ;
- ⇒ Golf 4 se rend compte que la route qu'il suit n'est pas celle de Saint Jean d'Angély ;
- ⇒ Au FL 22, Golf 4 annonce à Golf 3 qu'il va procéder à un atterrissage en campagne ;
- ⇒ A 14h55 Golf 3 contacte le directeur des vols de Cognac et rend compte de la situation : « Golf 4 ne se posera pas sur le terrain de Saint Jean d'Angély » ;
- ⇒ Golf 3 commence ses recherches entre 500 et 2000 ft QNH sur un axe nord-sud en le décalant vers l'ouest. Il acquiert le visuel sur un Epsilon évoluant en dehors de la patrouille Rafiot Golf en vol qui a une vue sur l'épave. Il rejoint la zone à l'altitude 2000 ft.

³¹ Tacan : *Tactical air navigation aid* , système de navigation tactique.

En conclusion :

La lecture des instruments étant rendue très difficile par les vibrations moteurs, le pilote en place avant de Golf 4 ne prend pas le cap du déroutement prévu. N'ayant pas le visuel, Golf 3 ne peut donc pas l'assister à son atterrissage en campagne.

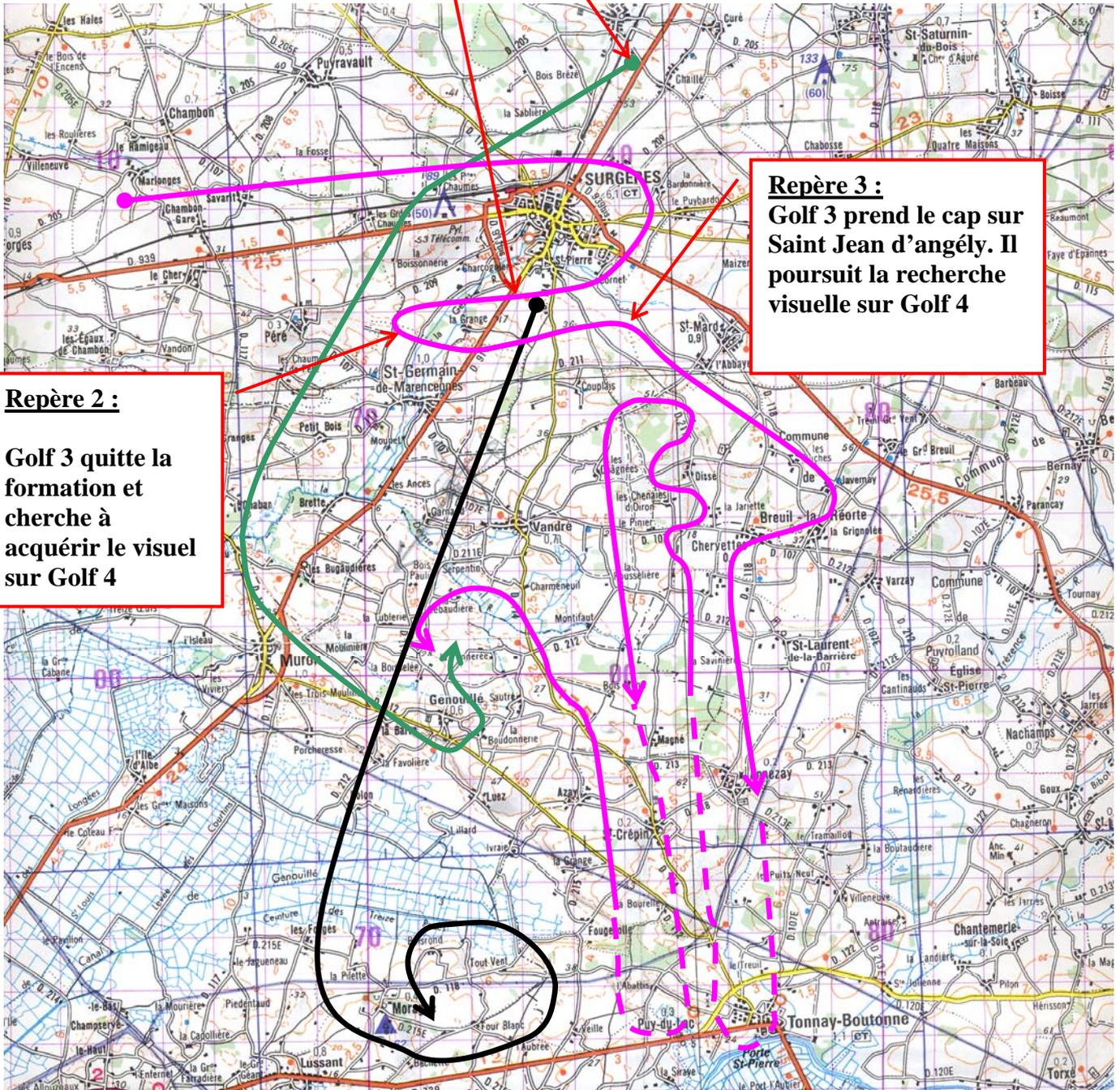
L'affichage du code de détresse par le pilote aurait permis de faciliter l'assistance au niveau du contrôleur aérien, en mettant en évidence la trajectoire de Golf 4.

Repère 1 :- Golf 4 annonce l'allumage du voyant pression d'huile
-Golf 1, 2, 3 sont rassemblés

Repère 3 :
Golf 3 prend le cap sur Saint Jean d'angély. Il poursuit la recherche visuelle sur Golf 4

Repère 2 :

Golf 3 quitte la formation et cherche à acquérir le visuel sur Golf 4



Trajectoires en vol estimées : Golf 1, 2 ———
Golf 3 ———
Golf 4 ———

Figure n° 3 : Estimation des trajectoires du déroutement basées sur les témoignages des pilotes : Golf 1, 3 et 4

2.4.2 L'option de l'atterrissage en campagne

2.4.2.1 La prise de décision

Confronté à une seconde explosion, le pilote en place avant de Golf 4 constate que la Padm est à 999 mbar. La manette de gaz devient inefficace aussi bien en réduction qu'en augmentation. Golf 4 est au FL 22. La décision d'effectuer un atterrissage en campagne est prise. Le pilote affiche une Vi de 110 kts (vitesse de finesse) et recherche aussitôt un champ pour poser l'aéronef.

Les deux pilotes ont su gérer le stress engendré par la situation : l'un en prenant à sa charge la totalité de l'atterrissage (pilote en place avant), l'autre en n'interférant pas avec les actions du pilote. Le pilote espagnol en place arrière a approuvé le choix du champ pour l'atterrissage.

La décision du pilote d'exécuter un atterrissage forcé a pu être influencée par les facteurs suivants :

- La proximité du sol ;
- La présence d'un passager peu familier des procédures ;
- La démonstration peu convaincante d'une évacuation en vol sur TB 30 ;
- L'absence de référence à une évacuation réelle antérieure.

En conclusion

La prise de décision de l'atterrissage forcé en campagne de Golf 4 n'a pas occasionné de dommages physiques à l'équipage. Cependant, son exécution qui exige la maîtrise de la procédure, dépend de l'environnement, rendant la réussite de l'atterrissage forcé incertaine.

2.4.2.2 L'exécution de l'encadrement du terrain choisi

La reconstitution de la trajectoire finale de l'Epsilon n° 15 est représentée en page 46. Elle est basée sur le témoignage du pilote en place avant. Le pilote effectue un atterrissage forcé dans un champ de blé par une prise de terrain en « U ». Le moteur ne délivre plus de puissance mais génère des vibrations importantes. La lecture des instruments est rendue difficile. Le pilote s'estime trop haut, et effectue une glissade³² qui le ramène dans le plan de descente. Au point d'aboutissement il arrête la glissade et remet l'avion dans l'axe du champ au cap approché 300° avec une vitesse proche de 110 kts. Lors de l'encadrement du champ, le pilote n'a pas tenu compte du vent qui était présumé du 170°/4 kt. Pour cette procédure d'atterrissage, la vitesse d'approche préconisée est de 90 kt. La vitesse d'approche élevée alors que le vent vient du secteur arrière gauche a sans doute contribué à ce que l'avion survole le champ sur une distance voisine de 600 mètres. Cette distance parcourue, le pilote se trouve face à une ferme éloignée d'environ 200 mètres. Il s'interroge sur la faisabilité de se poser avant la ferme. De ce fait, détectant un espace plus favorable à sa droite, il effectue un virage vers la droite au pied qu'il contre au manche pour ne pas incliner l'avion, et risquer de toucher le sol de l'aile. Cette manœuvre engendre une sensation de diminution franche de la vitesse. Le pilote agit sur les palonniers pour mettre la gouverne de direction au neutre. La distance entre le début du virage à plat et le posé est estimé à 250 mètres.

En conclusion :

Sous l'effet du stress, le pilote n'a pas tenu compte de l'orientation du vent. L'énergie importante de l'avion due à sa vitesse élevée, conjuguée à l'effet du vent venant de l'arrière a pénalisé l'exécution de l'approche finale. Cela a conduit au toucher au-delà du point visé. Les actions terminales du pilote ont néanmoins contribué à la sauvegarde de l'équipage.

³² La glissade : manœuvre qui consiste à faire voler l'avion en attaque oblique (dérapage) pour augmenter sa traînée, ce qui permet d'approcher sur une pente plus forte tout en conservant la même vitesse.

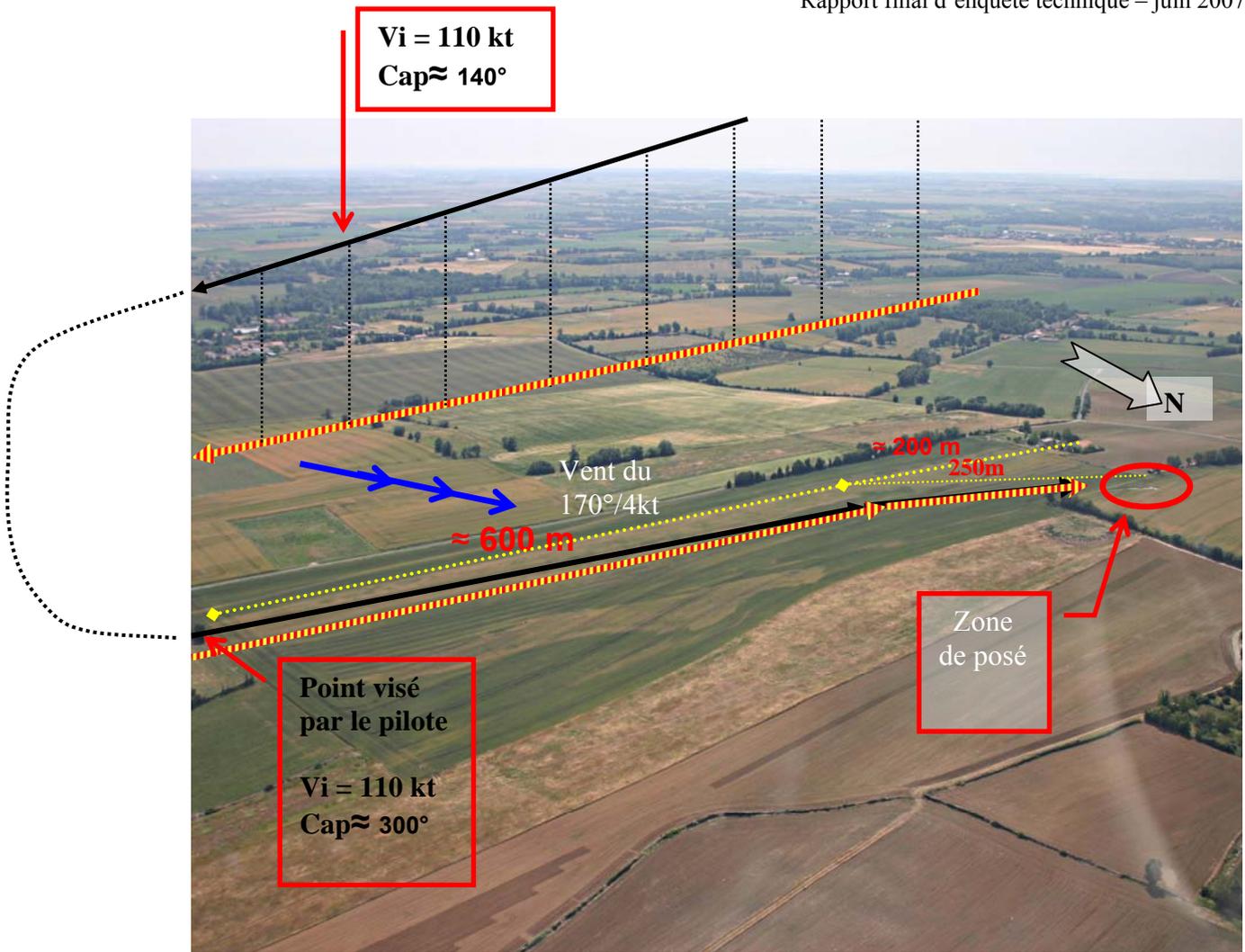


Photo n° 11 : Prise de terrain à vue.

Trajectoire en vol estimée 

Trajectoire au sol estimée 

3 CONCLUSION

3.1 Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement

- Confronté à une panne du motopropulseur, le moniteur en place avant initie un déroutement. Le moteur ne délivre plus de puissance, le pilote décide alors d'effectuer un atterrissage en campagne ;
- Le TB30 Epsilon n° 15 était entretenu conformément aux programmes de maintenance ;
- La disparition des coussinets a généré un jeu de l'ordre de 4mm de diamètre, entre le maneton et l'alésage de la tête de la bielle n° 5. Les chocs répétés dus à la rotation de l'embellage ont ensuite favorisé la rupture rapide de la tête de bielle ;
- Aucun fait établi, aucune des analyses des constituants du moteur et de l'huile utilisée, n'a permis d'expliquer le phénomène à l'origine de l'usure et de la destruction des coussinets.

3.2 Causes de l'évènement

- Les investigations réalisées sur le moteur Lycoming AEIO 540L1B5D équipant l'Epsilon n° 15 ont montré que les endommagements internes du moteur ayant conduit à son dysfonctionnement et à son arrêt en vol sont la conséquence de la destruction des coussinets de la bielle n° 5 ;

L'atterrissage forcé en campagne est une manœuvre délicate qui demande une parfaite connaissance des conditions de réalisation. Les actions terminales du pilote ont contribué à la sauvegarde de l'équipage.

4 RECOMMANDATIONS DE SECURITE

4.1 Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement

Le résultat des investigations menées sur le groupe motopropulseur conduit le BEAD-air à émettre les recommandations suivantes :

4.1.1 Maintenance du groupe motopropulseur

La présence de particules dans le carter peut provoquer la pollution du clapet à bille. Pendant le passage en vol dos, les particules aspirées à l'intérieur du clapet peuvent empêcher le positionnement correct des billes lors du retour en vol normal, entraînant la perte d'étanchéité et le risque de chute de pression de l'huile qui a pour conséquence la rupture du film d'huile sur les pièces du moteur.

Afin d'éviter la pollution du circuit de lubrification du moteur lors du vol inversé, le bureau enquête accidents défense air recommande à l'Armée de l'Air:

d'étudier la modification du circuit de lubrification du moteur Lycoming AEIO 540L1B5D par l'insertion d'un filtre en amont du clapet à bille du système de vol inversé « Christen ».

Lors des révisions générales des moteurs AEIO 540L1B5D effectuées au NTI3³³, le compte rendu ne fait apparaître que l'inventaire des pièces changées.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande à l'Armée de l'Air:

la traçabilité de la maintenance du moteur lors de la révision générale effectuée au NTI3 de façon à optimiser le potentiel du moteur et augmenter sa fiabilité.

³³ NTI3 : Niveau technique d'intervention 3.

L'activité de voltige (temps de vol au facteur de charge compris entre -2,75g et 5,5g) engendre des contraintes mécaniques sur le groupe motopropulseur.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande à l'Armée de l'Air:

d'adapter la limite du potentiel moteur en fonction des différents types de vol effectués, par une étude sur les heures de fonctionnement du moteur Lycoming AEIO 540L1BD.

Suite à l'ordre particulier d'étude N° 02/03 Epsilon du 16 septembre 2003 le moteur Lycoming AEIO540L1B5D n° L-23758-48A équipant l'Epsilon n° 141 était suivi par analyse spectrométrique de l'huile. Des teneurs en fer, cuivre et magnésium se sont révélées élevées suite aux limites définies par le laboratoire du SEA. Un examen du moteur a été réalisé au CEPr le 25 octobre 2006.

Les investigations ont révélé :

- des marquages sur les coussinets des paliers du vilebrequin n°1 et 4 avec disparition locale de métal anti-friction sur les coussinets du palier ;
- des marquages et rayures sur le tourillon avant du vilebrequin (palier n° 1), l'usure des coussinets de bielle, des rayures des alésages de tous les cylindres et des jupes des pistons.

Bien que les coussinets des bielles et des paliers de vilebrequin soient constitués d'aluminium et d'étain, les analyses spectrométriques concernant ces métaux n'ont pas révélé de dégradation. En effet, les limites hautes et basses des métaux d'usure ont été définies sur un parc homogène. Elles ne tiennent pas donc compte des évolutions des composants du moteur.

L'utilisation de l'analyse spectrométrique de l'huile permettant de déterminer l'état de moteur, le bureau enquête accidents défense air recommande à l'Armée de l'Air:

la réalisation d'un inventaire précis des composants du moteur, de façon à optimiser l'analyse spectrométrique comme procédé permettant de détecter une usure anormale du moteur.

4.1.2 Procédures de secours

- Affichage du code de détresse sur le transpondeur :

Le même code transpondeur est attribué à tous les avions évoluant dans le secteur 13X. Le pilote de Golf 4 n'a pas affiché le code de détresse lors de la gestion de la panne. De facto, l'avion n'a pas pu être identifié par le contrôleur aérien. L'affichage du code (composé de quatre chiffres) nécessite une attention et une manipulation chronophage. La gestion de la panne a placé le pilote en situation de surcharge de travail, qu'il a géré en se concentrant sur les tâches prioritaires et omis l'affichage du code.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande à l'Armée de l'Air :

de réfléchir à l'emploi du code de détresse en cas d'accident aérien compte tenu de l'ergonomie du transpondeur à bord de l'Epsilon.

- Mémento de l'équipage Epsilon :

La consultation d'une procédure de secours relative à une panne sur le mémento de l'équipage Epsilon « MCE 122 », amène le pilote à se reporter à différents onglets.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande à l'Armée de l'Air:

d'améliorer l'ergonomie du mémento de l'équipage Epsilon « MCE 122 » de façon à permettre l'exploitation des procédures de secours.

➤ Entraînement à l'atterrissage forcé :

L'atterrissage forcé en campagne est une procédure délicate qui exige un entraînement régulier pour garantir une sûreté de jugement.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande au CEAA:

de mener une étude afin de déterminer la fréquence minimale de l'entraînement à l'atterrissage forcé sur l'Epsilon nécessaire à la garantie du succès de l'exécution de cette procédure de secours, pour tous les pilotes.

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

Ces mesures concernent l'enregistreur de phonie et l'abandon de bord.

4.2.1 Enregistreur de phonie

L'emport du MP3 par le pilote de l'Epsilon n° 15 aurait permis de restituer des éléments importants à l'enquête, la chronologie des actions et toutes les conversations avec les équipiers de la patrouille. Cet enregistreur de phonie est rendu en grande partie non utilisable pour des raisons de fiabilité du cordon de liaison enregistreur radio.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande à l'Armée de l'Air:

d'effectuer une modification de la connexion radio de l'enregistreur de phonie MP3 de façon à la rendre plus fiable.

4.2.2 Abandon de bord

La réussite de l'atterrissage moteur coupé éloigne le choix de l'abandon de bord de l'esprit des pilotes. Les élèves pilotes en vol solo ne sont pas autorisés à appliquer la procédure d'atterrissage en campagne. Certains d'entre eux remettent en cause le bien-fondé de l'abandon de bord en vol solo.

A l'évidence l'expérimentation réelle d'une procédure d'abandon de bord par un parachutiste d'essai pourrait être de nature à redonner confiance en cette procédure.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande à l'Armée de l'Air :

de reprendre une étude complète sur la procédure d'abandon de bord et sur ses conditions d'emploi.

En fonction de la zone survolée, le pilote doit se préparer avant sa mission au choix de la procédure de secours possible la plus adaptée de façon à réagir au plus vite. Dans l'attente de la validation des résultats d'une étude sur la procédure d'évacuation, il est nécessaire pour l'armée de l'Air de décider des missions qui peuvent conduire en cas de panne à un abandon de bord.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande à l'Armée de l'Air :

- ❖ - de procéder à une étude de risque relative aux conditions d'emploi de l'Epsilon quand l'abandon de bord est l'unique procédure d'urgence applicable.**
- ❖ - de se positionner dès maintenant sur le type de missions à effectuer sur l'avion Epsilon en fonction des procédures de secours en vol applicables.**

ANNEXE

- Annexe 1 : Ordre particulier d'étude n° 02/03/epsilon_____page 54
- Annexe 2 : Circuit de lubrification du moteur AEIO540L1B5D_____page 56
- Annexe 3 : Description succincte de l'assemblage bielle maneton_____page 57
- Annexe 4 : Destruction intégrale des coussinets de la bielle n° 5_____page 58
- Annexe 5 : Les cassures du chapeau de la bielle n° 5_____page 60
- Annexe 6 : Examens métallurgiques de la bielle n° 5_____page 61
- Annexe 7 : Examens métallurgiques des manetons respectifs de la bielle n° 5 et de la
bielle n° 6_____page 62
- Annexe 8 : Constitution des coussinets montés sur les bielles_____page 63
- Annexe 9 : Graphe des différents métaux d'usure du moteur : Cu – Pb - Sn_____page 64
- Annexe 10 : Graphe des différents métaux d'usure du moteur : Al – Fe -Cr_____page 65
- Annexe 11: Graphe des différents métaux d'usure du moteur : Si - Na_____page 66

1 ORDRE PARTICULIER D'ETUDE N° 02/03/EPSILON

ARMEE DE L'AIR

004044
CEAA/BST/TBI

TOURS, le 16 SEP. 2003

ORDRE PARTICULIER D'ETUDE

N°02/03/EPSILON

OBJET : étude des huiles pour les moteurs AEIO 540L1B5D.
REFERENCES :
1 - NE 1044/DEF/DCSEA/SDE.1/TD/184.62 du 13/02/2003.
2 - BR 240216/BA 709/ST/EETIS/CDT du 16/05/2003.
3 - CR de réunion n°1772/DEF/EMAA/BSA/TECH/MO du 15 avril 2003.
PIECE JOINTE : 1 Annexe (déroulement de l'étude).

UNITE RESPONSABLE : ESTS 15.315.

UNITE ASSOCIEE A L'ETUDE : EETIS 54.535.

SECTION D'ANIMATION : CEAA/BST/TBI

1. - **EXPOSE DES MOTIFS :** dans le but de recueillir des informations techniques pour évaluer l'intérêt des huiles multigrades avec additif anti-usure et d'élargir la gamme des produits utilisables par les armées, il a été décidé de lancer un programme d'expérimentation sur les trois huiles suivantes :

- Aéro DM avec anti-usure,
- Aéroshell W 15W-50,
- Aéro DM sans anti usure (XO - 162).

En outre, cette expérimentation est mise à profit pour tenter de mettre en place un suivi des huiles pouvant permettre de détecter à temps un comportement divergent du moteur. Ces études font suite à de nombreux incidents mettant en cause la lubrification du moteur.

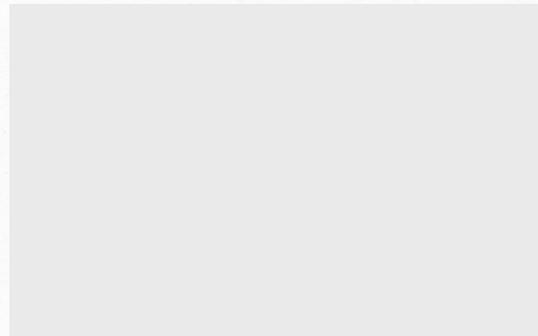
2. - **MATERIELS CONCERNES :** les moteurs Textron Lycoming AEIO 540L1B5D équipant 15 TB 30 Epsilon (5 par huile précitée).

3. - **TRAVAIL DEMANDE :** voir annexe.

4. - **DELAIS :** 350 heures (environ 1 an et demi) par moteur sélectionné pour l'étude.

DESTINATAIRES :

- EMMA/BSA/TECH (Cdt Leguen)
- SPA6/ST/PRA (M. Mésange)
- SIMMAD/flotte école
- DCSEA Paris
- LSEA Marseille
- ESTS 15.315
- EETIS 54.535
- ETAL 67.535



Annexe

Descriptif détaillé de l'étude concernant l'évaluation des huiles pour moteurs Lycoming AEIO 540L1B5D équipant le TB 30 Epsilon

1. Différentes huiles testées

1.1 Huile Total Aéro DM SAE 15W50 : codifiée X0 162, huile semi-synthétique, sans additif anti-usure, actuellement utilisée sur les moteurs à pistons équipant les avions de l'Armée de l'air.

1.2 Huile AéroShell oil W 15W50 : huile semi-synthétique de la société Shell comportant un additif anti-usure.

1.3 Huile Total Aéro DM SAE 15W50 (avec anti-usure) : version civile de l'huile utilisée dans l'armée de l'air. Contient un additif anti-usure.

2. Moteurs concernés par l'étude

Cette étude concerne quinze moteurs qui feront l'objet du suivi permanent :

- cinq moteurs fonctionnant avec l'Aéro DM 15W50 sans anti-usure,
- cinq moteurs fonctionnant avec l'Aéroschell oil W 15W50,
- cinq moteurs fonctionnant avec l'Aéro DM 15W50 avec anti-usure.

Les moteurs sélectionnés devront être rodés et avoir un vieillissement depuis RG le plus faible possible. De plus, afin de faciliter l'exploitation et la comparaison des résultats obtenus avec chaque type d'huile, cette sélection devra être homogène, c'est à dire que l'écart représentatif du vieillissement des moteurs composant un groupe devra être respecté pour la composition des autres groupes de cinq moteurs. Dès réception du présent OPE, l'ESTS 15.315 de Cognac déterminera les moteurs retenus pour l'étude et transmettra au CEEA les éléments détaillés concernant ces moteurs (vieillessement, état des visites...).

3. Déroulement de l'expérimentation

3.1 Cycle de prélèvements : ils sont effectués selon le cycle suivant :

- charge huile neuve au début de l'étude,
- prélèvement entre 15 et 20 heures,
- prélèvement entre 30 et 35 heures,
- prélèvement à 50 heures, puis vidange.

Ce cycle doit être répété six fois, soit jusqu'à 350 heures de fonctionnement (dernier prélèvement).

3.2 Méthode de prélèvement :

- Les prélèvements sont réalisés via le bouchon de vidange et doivent être conformes aux exigences suivantes :
- la température huile doit être au minimum de 60°C,
 - le prélèvement s'effectue dans les flacons de prélèvements de 125 ml (code XE-9972),
 - l'identification des flacons se fait avec les étiquettes transmises par le LSEA de Marseille.

Les flacons doivent être adressés par voie postale à l'adresse suivante :

Laboratoire du service des essences des armées
302, chemin de Sainte-Marthe
13014 Marseille

4. Suivi des autres moteurs

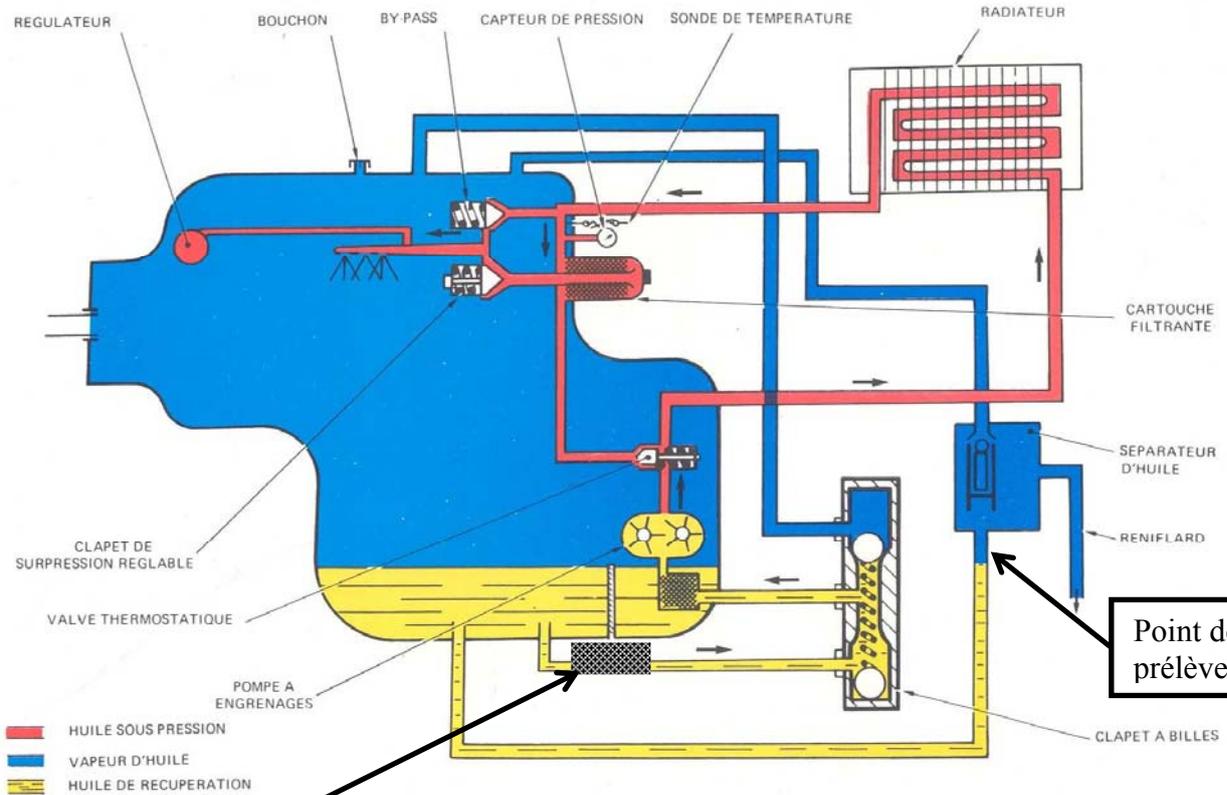
Pour les autres moteurs de la flotte fonctionnant avec l'huile habituelle (Aéro DM sans anti-usure), un prélèvement sera effectué à l'occasion de chaque vidange (50 heures) selon méthode décrite au chapitre 3.2.

Nota : une attention particulière est demandée aux utilisateurs sur :

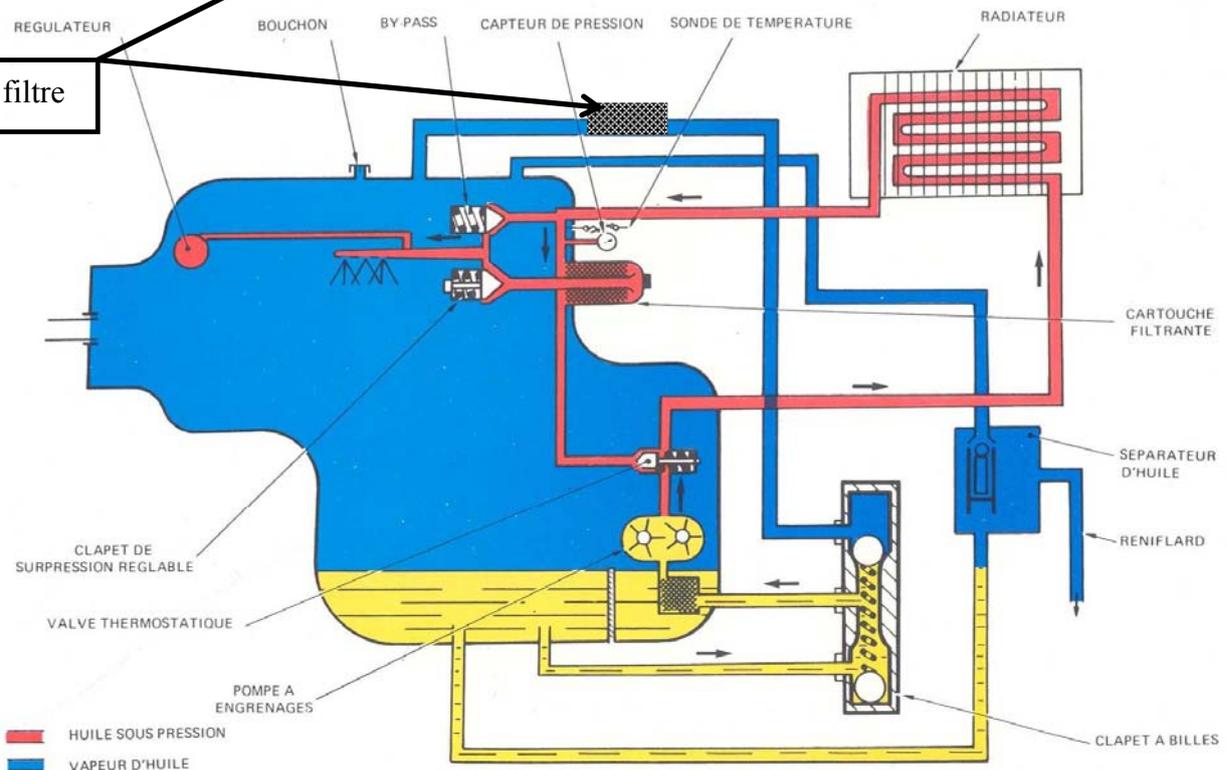
- la précision des renseignements à porter sur les étiquettes (ajouts d'huile, information sur l'entretien curatif du moteur, ...)
- les compléments avec l'huile adéquate.

2 CIRCUIT DE LUBRIFICATION DU MOTEUR AEIO540L1B5D

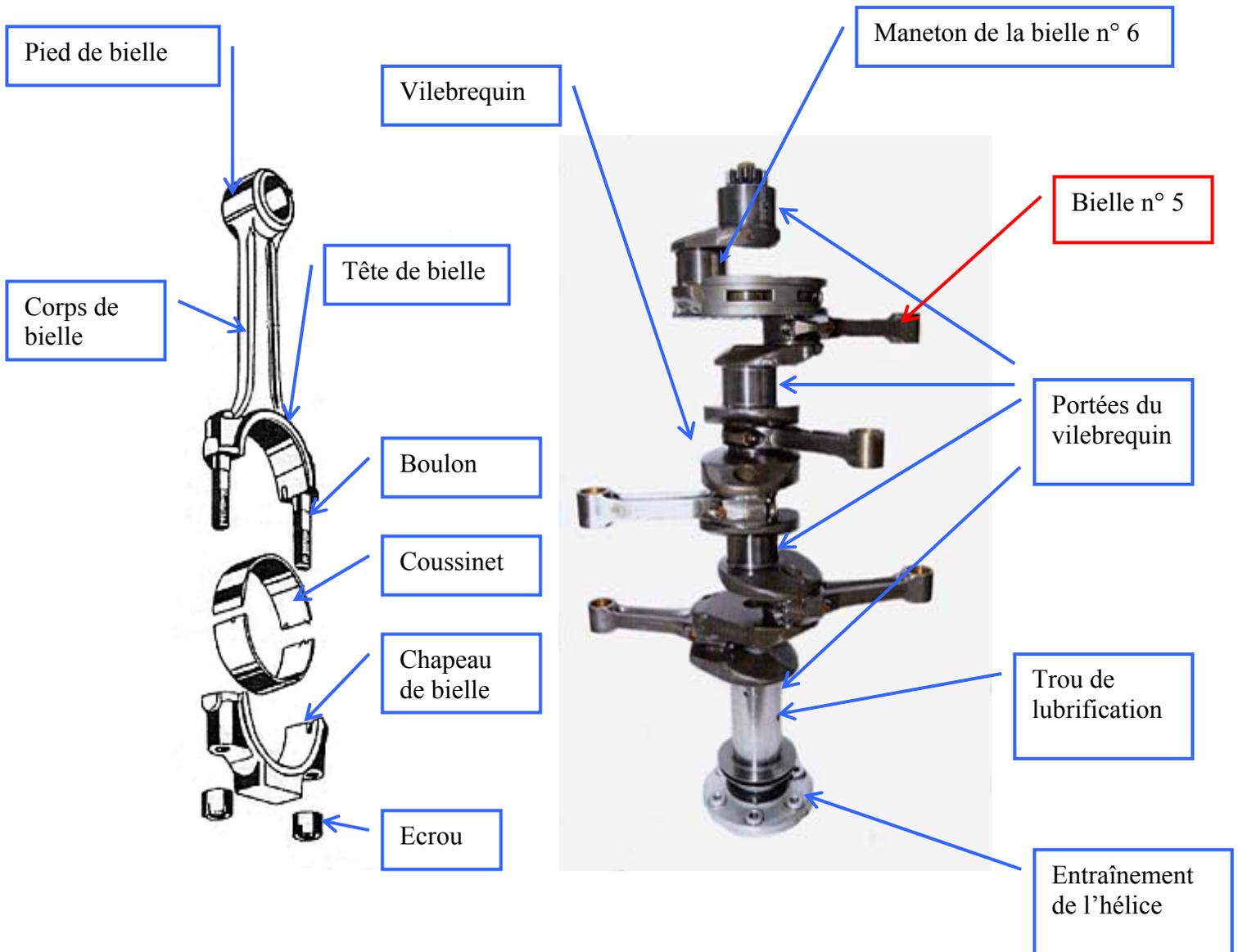
VOL NORMAL



VOL INVERSE



3 DESCRIPTION SUCCINCTE DE L'ASSEMBLAGE BIELLE MANETON



Eléments de bielle

Vue de l'embellage du moteur Lycoming AEIO LIB5D

L'extrémité de la bielle est fixée sur un maneton du vilebrequin, est appelée « tête de bielle ». Montée sur le maneton, la tête de la bielle est divisée en deux parties : la tête proprement dite, et le chapeau de bielle qui se visse sur la tête. La friction entre l'ensemble bielle chapeau et maneton est réduite par l'interposition entre les pièces mobiles de deux demi coussinets en acier recouverts sur leurs faces internes de métal antifricition.

4 DESTRUCTION INTEGRALE DES COUSSINETS DE LA BIELLE N° 5

- Les enveloppes métalliques ont été récupérées sous forme de feuillets.



Particules les plus volumineuses provenant des coussinets en acier

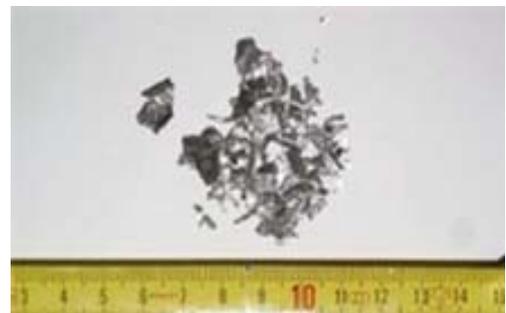


Particules les plus fines provenant des enveloppes des coussinets en acier

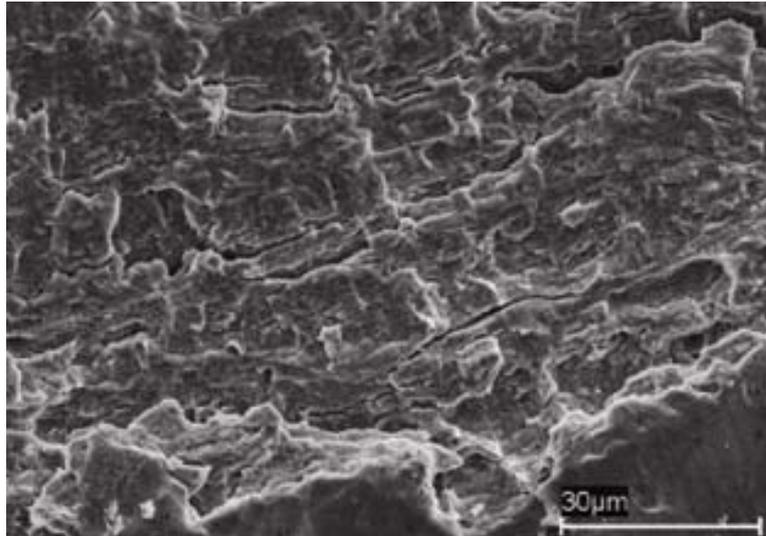
- Les résidus de la garniture d'alliages anti-friction sont soit des petits agglomérats de particules compactées et écrasées, soit de très fins feuillets.



Particules d'alliages anti-friction sous forme d'agglomérats tassés et écrasés.



Particules d'alliages anti-friction sous forme de feuillets.



Faciès de fatigue rapide de la zone C

Une telle fissuration s'est manifestement produite lorsque la bielle était sollicitée alternativement en traction à chaque tour du moteur, en raison du jeu anormal entre son alésage et le maneton du vilebrequin dû à la disparition progressive des coussinets.

5 LES CASSURES DU CHAPEAU DE LA BIELLE N° 5



Chapeau de bielle
Plan de rupture

Schéma de la cassure au droit
de la zone de lamage pour la
tête de chaque boulon

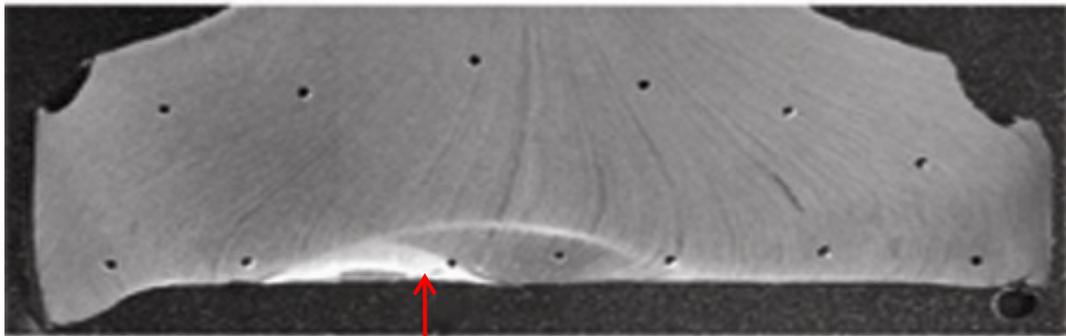
Alésage de la tête de bielle

- Les cassures, matées, sont inexploitable.
- Les cassures 1, 2, 5 et 6, correspondant au plan de rupture situé au droit de la zone de raccordement du bossage de chaque boulon, présentent des faciès différents :
 - ⇒ Zone A : le faciès est maté et écrasé ;
 - ⇒ Zone B : le faciès présente un aspect très granuleux. L'observation au MEB³⁴ met en évidence uniquement des cupules, caractéristiques d'une rupture statique ;
 - ⇒ Zone C : majoritairement matée, avec un faciès de fatigue rapide.

³⁴ MEB : microscope électronique à balayage.

6 EXAMENS METALLURGIQUES DE LA BIELLE N° 5

L'examen de la coupe de la bielle n°5 a mis en évidence une zone de surchauffe dans l'alésage de la tête de bielle. Cette surchauffe a été provoquée par le contact avec le maneton respectif lorsque les coussinets ont disparu. Le même examen a été réalisé pour les bielles n°4 et 6, aucune surchauffe n'a été détectée.



Surchauffe observée au centre de la tête de bielle
(lunule et arc blanc)

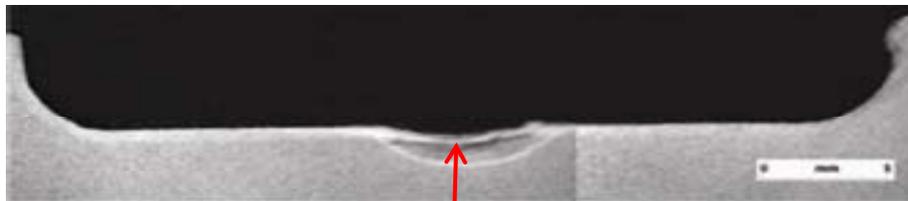
Coupe micrographique et test de dureté réalisés sur la tête de la bielle n° 5

Les tests effectués sur les bielles n° 4, 5 et 6 montrent par ailleurs un niveau de dureté identique. La bielle n°5, dans sa zone de surchauffe, a des valeurs de dureté faiblement perturbées.

7 EXAMENS METALLURGIQUES DES MANETONS RESPECTIFS DE LA BIELLE N° 5 ET DE LA BIELLE N° 6

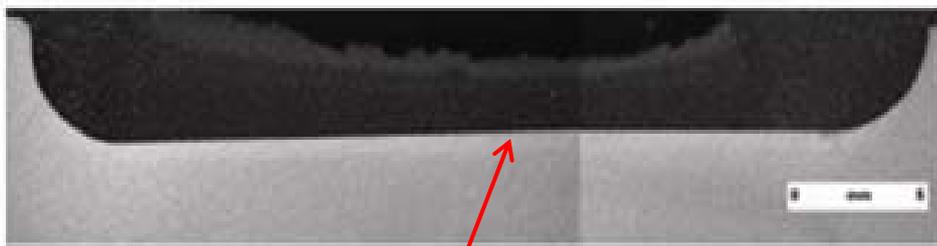
Une coupe micrographique a été réalisée sur les manetons n° 5 et 6. Ces examens ne mettent en évidence qu'une surchauffe ou brûlure du matériau au droit de la zone d'usure du maneton n° 5 par les boulons de bielle.

La mesure de dureté réalisée au cœur de chaque maneton (n° 5 et n° 6) est identique et correspond à la dureté mesurée habituellement sur ce matériel.



Surchauffe observée au centre de la portée (lunule plus claire) par le contact avec les boulons de bielle, après la disparition des coussinets.

Coupe micrographique réalisée sur le maneton n°5 du vilebrequin



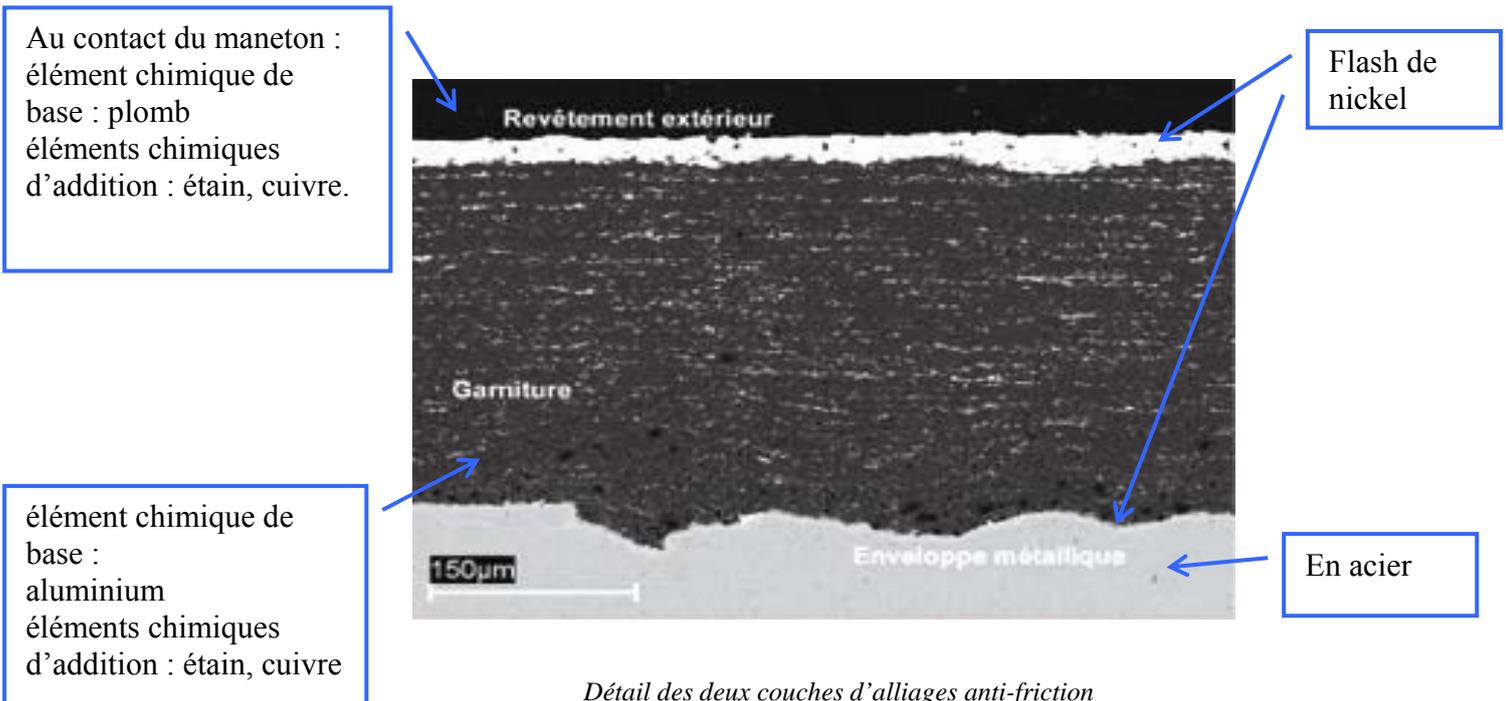
Aucune surchauffe du matériau n'est observée

Coupe micrographique réalisée sur le maneton n°6 du vilebrequin

8 CONSTITUTION DES COUSSINETS MONTES SUR LES BIELLES



Coupe réalisée sur un coussinet de la bielle n°4



Au contact du maneton :
élément chimique de
base : plomb
éléments chimiques
d'addition : étain, cuivre.

Flash de
nickel

élément chimique de
base :
aluminium
éléments chimiques
d'addition : étain, cuivre

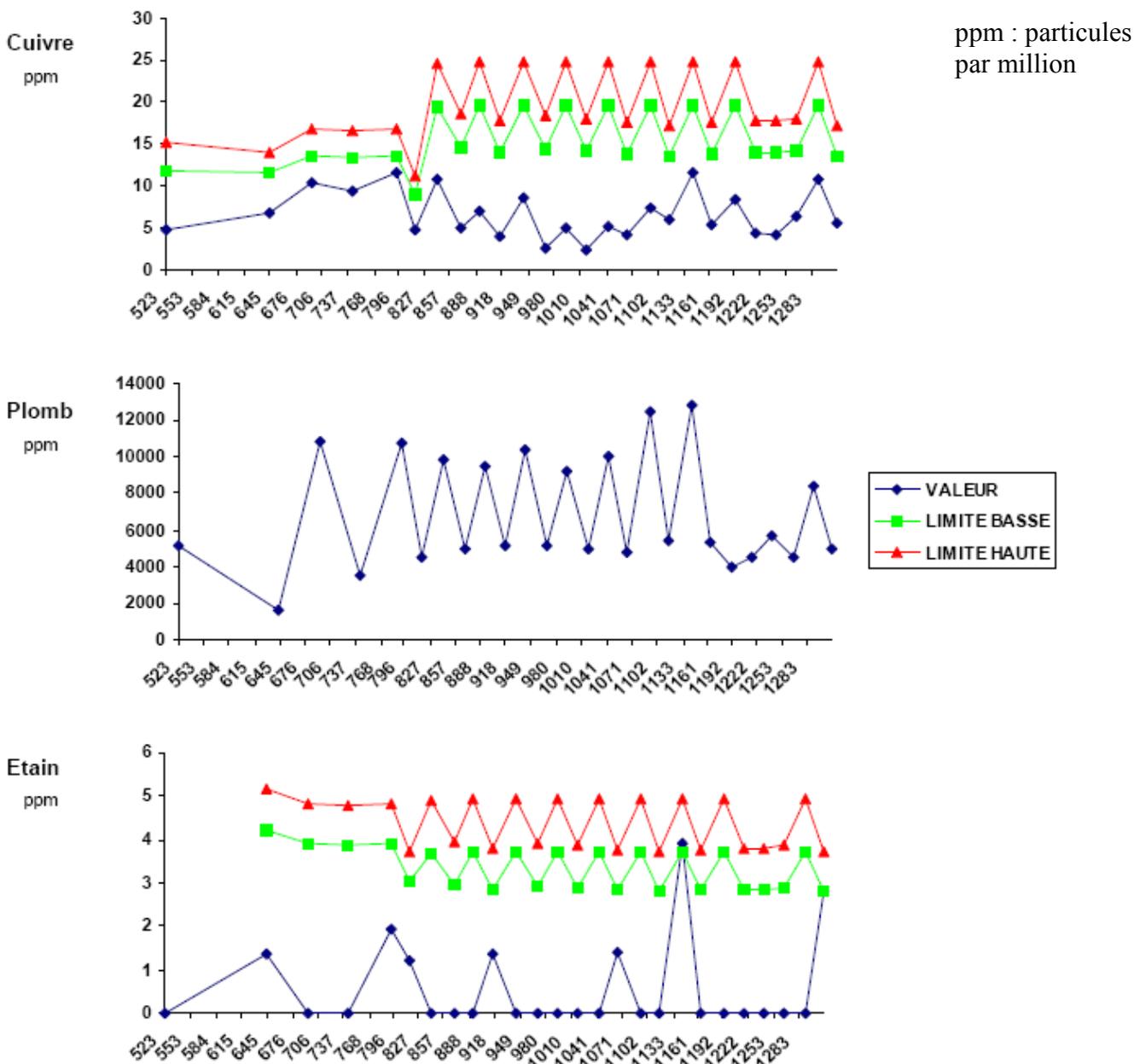
En acier

Détail des deux couches d'alliages anti-friction

9 GRAPHE DES DIFFERENTS METAUX D'USURE DU MOTEUR : CU – PB - SN

BILAN : HISTORIQUE DE L'EQUIPEMENT POUR Cu, Pb et Sn

N° de l'équipement : **23078**

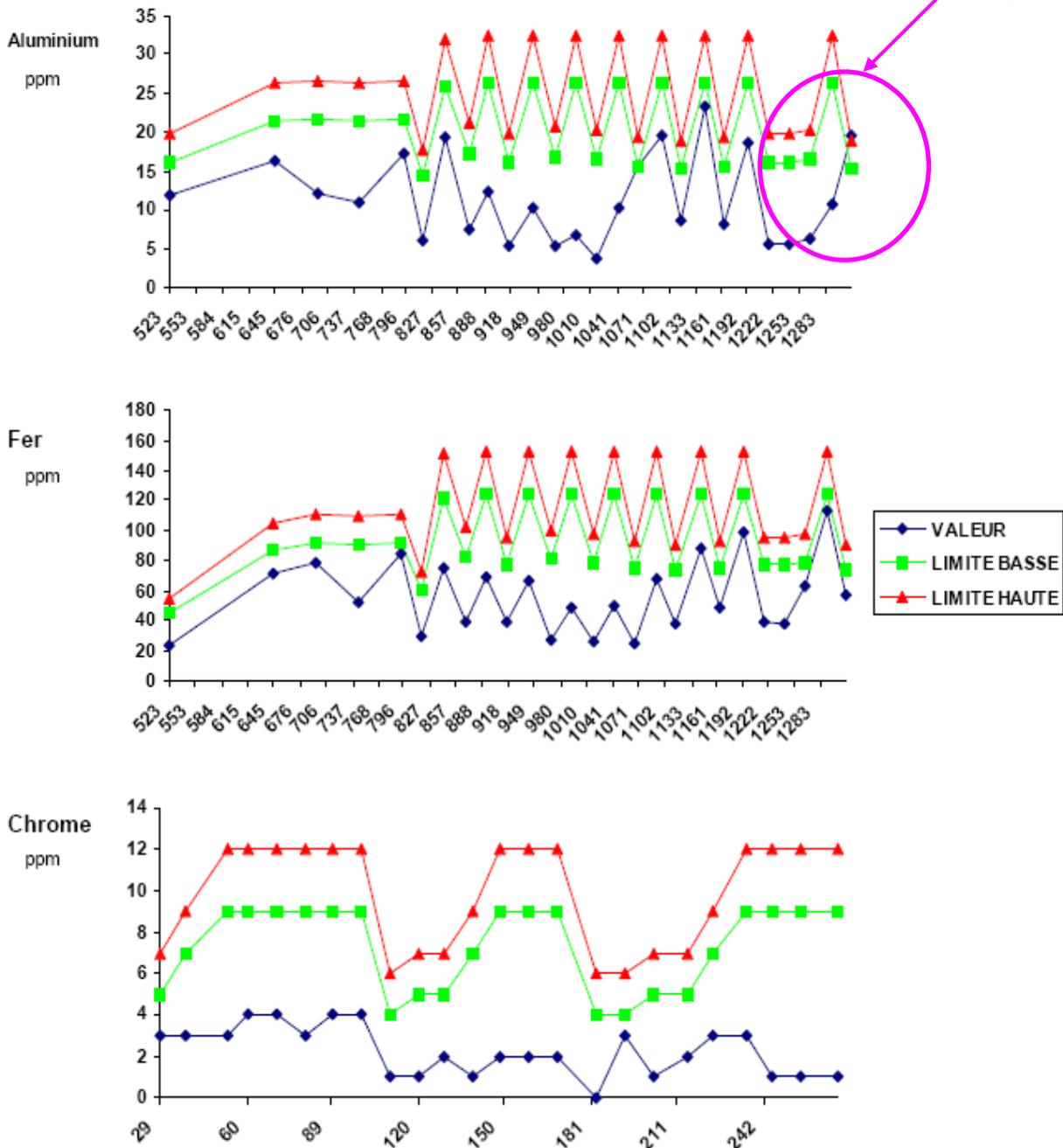


10 GRAPHE DES DIFFERENTS METAUX D'USURE DU MOTEUR : AL – FE - CR

BILAN : HISTORIQUE DE L'EQUIPEMENT POUR AL Fe et Cr

N° de l'équipement : **23078**

Evolution significative



11 GRAPHE DES DIFFERENTS METAUX D'USURE DU MOTEUR : SI - NA

BILAN - HISTORIQUE DE L'EQUIPEMENT POUR Si et Na

N° de l'équipement : **23078**

