

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 16 février 2009

RAPPORT PUBLIC D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-A-2008-004-I

Date de l'événement	18 mars 2008
Lieu	Aéroport de Bordeaux Mérignac (Gironde - 33)
Type d'appareil	TBM 700
Immatriculation	N° 105
Organisme	Armée de l'air – commandement des forces aériennes
Unité	Escadron de transport mixte 02.040 Médoc

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. Il convient d'y retrancher une heure pour obtenir l'heure en temps universel coordonné (UTC).

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 Air.

Pages 12 – 13 : BEAD-air.

Page 25 : Manuel d'entretien TBM 700 SOCATA.

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	2
TABLE DES MATIERES	3
GLOSSAIRE	5
TABLE DES ILLUSTRATIONS	6
SYNOPSIS	7
1. Renseignements de base	8
1.1. Déroulement du vol	8
1.2. Tués et blessés	9
1.3. Dommages à l'aéronef	9
1.4. Autres dommages	9
1.5. Renseignements sur le personnel	9
1.5.1. Commandant de bord	9
1.5.2. Pilote	9
1.6. Renseignements sur l'aéronef	10
1.6.1. Configuration des vérins et du boîtier de signalisation dans la flotte étatique	10
1.6.2. Points particuliers concernant la maintenance du train auxiliaire du TBM 700 n°105	11
1.6.3. Maintenance du vérin de relevage du train auxiliaire du TBM 700 n° 105	11
1.7. Conditions météorologiques	11
1.8. Aides à la navigation	12
1.9. Télécommunications	12
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	12
1.11. Enregistreurs de bord	12
1.12. Renseignements sur l'épave et sur l'impact	12
1.12.1. Constatations réalisées sur la piste	12
1.12.2. Opérations de libération de la piste	13
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	13
1.13.1. Commandant de bord	13
1.13.2. Pilote	13
1.14. Incendie	13
1.15. Survie des occupants	14
1.16. Essais et recherches	14
1.17. Renseignements sur les organismes	14
1.18. Renseignements supplémentaires	14
1.18.1. Historique des effacements de train dans la flotte TBM 700	14
1.18.2. Cas récents d'anomalies de signalisation de train dans la flotte étatique	14
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	14
2. Analyse	15
2.1. Résultats des investigations sur le circuit de train de l'appareil n° 105	15
2.1.1. Investigations menées appareil sur vérins	15
2.1.2. Autres investigations	15
2.2. Résultats de l'expertise du vérin de train auxiliaire de l'appareil n° 105	16
2.2.1. Essais sur le banc hydraulique	16
2.2.2. Expertise du contacteur de fin de course bas	16
2.2.3. Expertise du contacteur de fin de course haut	16
2.2.4. Inspection interne du vérin	16
2.3. Synthèse des investigations techniques	17
2.3.1. Causes du blocage du contacteur de l'appareil n° 105	17
2.3.2. Causes des blocages sur l'ensemble des cas étudiés	17
2.3.3. Influence de la pression hydraulique de commande du vérin sur la position du poussoir	18
2.4. Analyse de la gestion de l'événement par l'équipage	18
3. Conclusion	20
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement	20
3.1.1. Rappel de l'événement	20
3.1.2. Conclusions des investigations techniques	20
3.2. Causes de l'événement	20

4. Recommandations de sécurité	21
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	21
4.1.1. Consignes et formation des équipages TBM 700	21
4.1.2. Adoption d'une modification visant à alerter l'équipage en cas de dysfonctionnement d'un contacteur de vérin de relevage	21
4.1.3. Maintenance des contacteurs	21
4.1.4. Amélioration de l'étanchéité des contacteurs de fin de course	22
4.1.5. Investigations complémentaires visant à la détermination des causes des blocages des contacteurs de fin de course	22
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	22
ANNEXES	23
ANNEXE 1 Description partielle des atterrisseurs de TBM 700	24
ANNEXE 2 Historique des effacements de train dans la flotte TBM 700	27
ANNEXE 3 Cas récents d'anomalies de signalisation de train dans la flotte étatique	28

GLOSSAIRE

CDB	Commandant de bord
CFA	Commandement des forces aériennes
EPI	Enquêteur de première information
GTP	Groupe turbopropulseur
RG	Révision générale
TNS	Train non sorti

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Photographies :

Appareil immobilisé sur la piste.....	12
Vue du train auxiliaire effacé	13

Schémas :

Schéma du dispositif de commande contacteur	25
---	----

SYNOPSIS

Date de l'événement : mardi 18 mars 2008 à 16h04.
Lieu de l'événement : aéroport de Bordeaux Mérignac (33).
Organisme : armée de l'air.
Commandement organique : commandement des forces aériennes (CFA).
Unité : escadron de transport mixte ETM 02.040 Médoc.
Aéronef : TBM 700 n° 105.
Nature du vol : liaison.
Nombre de personnes à bord : 3, dont un passager.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Après le décollage de Bordeaux Mérignac, l'équipage détecte une anomalie de signalisation lors de la rentrée du train et décide de se reposer. Le train auxiliaire s'efface lors de l'atterrissage. L'équipage est indemne.

Composition du groupe d'enquête technique

Un directeur d'enquête technique du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air).
Un enquêteur de première information (EPI), auquel les premières investigations ont été déléguées.
Un officier pilote ayant une expertise sur TBM 700.
Un sous-officier mécanicien ayant une expertise sur TBM 700.
Un médecin du personnel navigant.

Autres experts consultés

SOCATA.

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air est prévenu par le bureau de maîtrise des risques de l'état-major de l'armée de l'air, dans l'heure suivant l'incident.
L'EPI réalise en soirée les premières constatations sur l'appareil qui a été tracté dans un hangar de la base aérienne de Bordeaux Mérignac. Il est rejoint par les autres experts du groupe d'enquête le lendemain en fin de matinée.

Enquête judiciaire

Cet événement a fait l'objet d'une enquête préliminaire diligentée par la brigade de gendarmerie de l'air de Bordeaux, classée sans suite par le procureur de la République près le tribunal de grande instance de Bordeaux.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

Indicatif mission : CTM 3882
Type de vol: CAG IFR¹
Type de mission : Liaison
Dernier point de départ : Bordeaux Mérignac
Heure de décollage : 15 h 56
Point d'atterrissage prévu : Avord

Le déroulement du vol est essentiellement basé sur le témoignage de l'équipage.

Le vol est une mission programmée de liaison au profit du passager. Le briefing est effectué une heure avant le départ. Le tour de l'avion est effectué par le pilote en fonction, qui s'installe en place gauche. Il n'y a pas de remarque particulière concernant l'état de l'avion².

L'appareil décolle de la piste 11. Après avoir positionné la commande de train sur *up*, le pilote constate que le voyant vert du train auxiliaire reste allumé durant environ 5 secondes après l'extinction du voyant rouge.

Le CDB poursuit sur la trajectoire de départ IFR puis, se reportant en vent arrière, il décide d'annuler la mission afin de faire procéder à un contrôle du train. Il effectue un tour de piste éloigné, à une altitude d'environ 2000 ft, afin de se présenter à vue en finale piste 11.

Le pilote sort le train en vent arrière, la séquence de sortie se déroule normalement. Il réduit les gaz afin de tester le déclenchement de l'alarme sonore *train non sorti* (TNS). Celle-ci ne retentit ni lors de ce test, ni lors de la sortie des pleins volets.

Lors de l'atterrissage, le pilote ressent que le nez de l'appareil s'enfonce de manière anormale et entend l'hélice toucher le sol. Il relève le nez de l'appareil. Le CDB effectue une coupure d'urgence du turbopropulseur (GTP) durant cette manœuvre. L'appareil finit sa course sur l'axe de piste, en appui sur l'hélice. Le CDB ordonne l'évacuation.

Le vol a duré environ huit minutes.

Localisation

- Lieu : piste 11 de l'aéroport de Bordeaux Mérignac.
 - pays : France ;
 - département : Gironde (33) ;
 - commune : Mérignac.
- Moment : jour.

¹ CAG/IFR : vol effectué en circulation aérienne générale, suivant les règles de vol aux instruments.

² L'appareil a été sorti du hangar dans la matinée. Il s'agit du premier vol de la journée.

1.2. Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles	/	/	/
Graves	/	/	/
Légères	0	0	/
Aucunes	2	1	/

1.3. Dommages à l'aéronef

	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
Aéronef	/	/	X	/

1.4. Autres dommages

Néant.

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Commandant de bord

- Age : 34 ans.
- Unité d'affectation : ETM 02.040, depuis 2004.
 - fonction dans l'unité : chef section activité aérienne (SAA).
- Formation :
 - qualification : moniteur ;
 - école de spécialisation : Avord ;
 - année de sortie d'école : 1998.
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont sur TBM 700	Sur tous types	Dont sur TBM 700	Sur tous types	Dont sur TBM 700
Total	3350	1680	210	210	32	32

- Date du dernier vol comme pilote sur TBM 700 : 17 mars 2008.

1.5.2. Pilote

- Age : 27 ans.
- Unité d'affectation : ETM 02.040, depuis 2006.

- Formation :
 - qualification : pilote de transport ;
 - école de spécialisation : 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 TBM 700	Sur tous types	Dont sur TBM 700	Sur tous types	Dont sur TBM 700
Total	1070	320	142	142	30	30

- Date du dernier vol comme pilote sur TBM 700 : 17 mars 2008.

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- TBM 700 A n° 105, livré en janvier 1995.
- Base aérienne de stationnement : BA 106 Bordeaux Mérignac.
- Unité d'affectation : ETM 02.040.

	Type	Numéro	Heures de vol totales	Atterrissages	Heures de vol depuis
Cellule	TBM 700 A	105	5029h45	5188	Visite 100 h : 43h05
Moteur	GTP PWC PT6A 64	111104	3884h55		RG : 837h05

1.6.1. Configuration des vérins et du boîtier de signalisation dans la flotte étatique

Depuis une quinzaine d'années, les vérins de relevage ont fait l'objet des amendements successifs H, J, L, M, N, qui ont eu pour but d'améliorer la fiabilité des contacteurs de fin de course.

Les vérins des appareils étatiques sont à l'amendement M³ émis en novembre 1996.

Les boîtiers de commande sont de même type sur l'ensemble des appareils étatiques⁴.

³ Comprenant notamment des modifications visant à améliorer la fiabilité de la signalisation (par la diminution du jeu de la cinématique de commande des contacteurs et par l'ajustement des réglages des contacteurs).

⁴ P/N T700A326000500400 – NNO 1680-14-516-1117.

1.6.2. Points particuliers concernant la maintenance du train auxiliaire du TBM 700 n° 105

- Échange train auxiliaire en juin 2006 en visite 600 h.
- Suite à une anomalie survenue en janvier 2008⁵, une période d'observation de 100 cycles était en cours (fait technique non clôturé par l'armée de l'air).
- Les tests de rentrée et sortie du train en normal et secours réalisés en février 2008 lors de la visite 100 h n'ont pas fait l'objet de remarques dans le rapport technique du constructeur.

1.6.3. Maintenance du vérin de relevage du train auxiliaire du TBM 700 n° 105

- Vérin s/n 125.
- Application de l'amendement M en avril 1998 en cours de RG.
- RG en juillet 2003.
- Temps depuis RG : 4 ans et 8 mois.
- Nombre d'atterrissages depuis RG : 1347.

Le pas de réalisation de la RG des vérins (flotte étatique) en vigueur est de 5000 atterrissages ou 7 ans⁶.

Lors de ces RG, les contacteurs sont démontés et révisés. Ils font d'autre part l'objet d'une maintenance selon état⁷.

Parmi les interventions non programmées recensées concernant le vérin de relevage du train auxiliaire, deux ont été réalisées suite à des anomalies similaires à celle du 18 mars et précédant de 6 mois l'incident :

- le 11 septembre 2007, lors d'une visite 100 h réalisée par le constructeur, le voyant vert du train auxiliaire reste allumé à la rentrée ; le rapport de travail ne mentionne ni la cause de cette panne, ni les travaux réalisés (mention sur le rapport de travail « problème de voyant vert de train auxiliaire résolu ») ;
- le 25 septembre 2007⁸, à la rentrée du train, le voyant vert du train auxiliaire reste allumé 10 secondes après l'extinction du voyant rouge ; d'après les informations recueillies, le constructeur intervient sur le contacteur de fin de course bas⁹. Le compte-rendu d'exécution des travaux ne mentionne pas la cause de cette panne.

1.7. Conditions météorologiques

Les observations à l'heure du décollage sont les suivantes :

- visibilité supérieure à 10 km ;
- 1/8 cumulus à 1400 m ; 2/8 cirrus à 7500 m ;
- vent 030°/12 à 15 kt, rafales à 20 kt ;
- QNH 1011 ;
- température au sol 13°C ;
- les taxiways et la piste sont secs.

⁵ Pas de rentrée du train, le voyant rouge restant allumé. L'avion est convoyé train sorti vers l'établissement SOCATA à Tarbes. La panne est confirmée en atelier. Le train fonctionne correctement après un nettoyage des contacts électriques liés à la sécurité sol.

⁶ Ce pas était de 3000 atterrissages/5 ans jusqu'en 2006.

⁷ Le fonctionnement des contacteurs est vérifié lors des tests de manœuvre des trains prévus dans les visites programmées. Ils ne font l'objet d'une intervention (réglage ou démontage) qu'en cas d'anomalie.

⁸ 22 heures de vol et 27 atterrissages ont été réalisés depuis la précédente anomalie du 11 septembre 2007.

⁹ Démontage, nettoyage de la bille et du poussoir, graissage de l'ensemble, repose et réglage.

1.8. Aides à la navigation

Sans objet.

1.9. Télécommunications

Le CDB est en charge des contacts radio. Il signale le retour vers le terrain environ une minute après le contact avec l'approche. Il contacte de nouveau la tour en position de vent arrière.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

L'aérodrome de Bordeaux Mérignac est une plateforme gérée par l'aviation civile, en ce qui concerne notamment le contrôle et les secours. Il comprend 2 pistes de longueur 3100 mètres (piste 05/23) et 2415 mètres (piste 11/29). La BA 106 est implantée sur l'aérodrome.

1.11. Enregistreurs de bord

Néant.

1.12. Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.12.1. Constatations réalisées sur la piste

L'appareil est axé sur la piste, en appui sur deux pales d'hélice. Le dessous du fuselage n'a pas touché le sol lors de l'atterrissage.

La jambe de train auxiliaire est intègre. Son vérin est en position intermédiaire. La commande de train est sur *down*.

Un tapis de mousse a été épandu par les pompiers¹⁰.



Appareil immobilisé sur la piste

¹⁰ Ceux-ci, ainsi qu'un contrôleur aérien, ont vu de la fumée provenant du frottement de l'hélice sur le sol.



Vue du train auxiliaire effacé

1.12.2. Opérations de libération de la piste

L'avant du fuselage a été soulevé afin de sortir le train auxiliaire manuellement. Celui-ci s'est correctement verrouillé mécaniquement. L'appareil a été ensuite tracté vers un hangar de la base.

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical :
 - type : CEMPAN ;
 - date : 10 décembre 2007 ;
 - résultat : apte pilote de transport ;
 - validité : 12 mois.

1.13.2. Pilote

- Dernier examen médical :
 - type : CEMPAN ;
 - date : 8 février 2008 ;
 - résultat : apte pilote de transport ;
 - validité : 12 mois.

1.14. Incendie

Néant.

1.15. Survie des occupants

Sans objet.

1.16. Essais et recherches

Des investigations ont été effectuées par le groupe d'enquête technique les 19 et 20 mars dans le hangar de l'unité, appareil sur vérins, afin d'identifier l'origine de l'absence de verrouillage mécanique du train auxiliaire.

Une expertise du vérin de relevage du train auxiliaire et du boîtier de signalisation a ensuite été effectuée à partir du 31 mars dans les locaux SOCATA.

Les résultats de ces investigations figurent au chapitre 2 « Analyse ».

1.17. Renseignements sur les organismes

Éléments concernant la flotte étatique TBM 700 :

La flotte de l'armée de l'air comprend 15 appareils¹¹. Les livraisons ont eu lieu entre 1992 et 1999.

La maintenance NTI2 a été réalisée jusqu'en 2002 par l'armée de l'air. Elle est depuis réalisée par le constructeur EADS SOCATA pour l'ensemble de la flotte étatique, ainsi que le NTI3.

1.18. Renseignements supplémentaires

1.18.1. Historique des effacements de train dans la flotte TBM 700

D'après les éléments recueillis :

- il s'agit du premier événement de ce type dans la flotte étatique ;
- trois autres sont recensés dans la flotte civile (cf. annexe 2).

1.18.2. Cas récents d'anomalies de signalisation de train dans la flotte étatique

Trois anomalies de signalisation, dont les circonstances sont décrites en annexe 3, se sont produites dans la flotte étatique, dans les semaines suivant l'incident objet du présent rapport. Les expertises menées sur les vérins concernés ont été exploitées dans le cadre de l'enquête.

1.19. Techniques spécifiques d'enquête

Néant.

¹¹ L'aviation légère de l'armée de terre détient 12 appareils. Le centre d'essais en vol met en œuvre 2 appareils, dont un de l'armée de l'air.

2. ANALYSE

L'événement est qualifié d'effacement de train auxiliaire à l'atterrissage.

Ce chapitre comprend 4 parties :

- résultats des investigations sur le circuit de train de l'appareil n° 105 ;
- résultats de l'expertise du vérin de train auxiliaire de l'appareil n° 105 ;
- synthèse des investigations techniques – analyse des causes possibles ;
- analyse de la gestion de l'événement par l'équipage.

2.1. Résultats des investigations sur le circuit de train de l'appareil n° 105

2.1.1. Investigations menées appareil sur vérins

Les principales constatations faites lors des investigations menées les 19 et 20 mars dans le hangar de l'escadron sont :

- le voyant vert est toujours allumé¹² lors des manœuvres manuelles de la jambe du train auxiliaire ;
- lorsque la centrale hydraulique est coupée au cours d'une séquence de rentrée, la lampe verte du train auxiliaire reste allumée ;
- le vérin du train auxiliaire étant en position *verrouillé haut*, le voyant vert reste allumé lors du test *check down*, indiquant que les deux micro-switchs du contacteur de fin de course bas sont en position *verrouillé* ;
- aucune anomalie de fonctionnement des trains principaux et de la signalisation associée n'est constatée.

Ces investigations montrent que :

- l'origine du non verrouillage bas du train auxiliaire, ayant provoqué son effacement lors de l'atterrissage résulte d'un dysfonctionnement du contacteur de fin de course bas qui est en position *verrouillé* alors que le vérin n'est pas en position *sorti verrouillé* ;
- lors de la sortie du train, l'information *train auxiliaire sorti verrouillé*, délivrée par le micro-switch affecté à la commande de la centrale hydraulique, a provoqué la coupure de la centrale lors du verrouillage bas des trains principaux, ou après celui-ci¹³ ;
- étant donné que les deux micro-switchs sont dans une position identique (*verrouillé*), ce dysfonctionnement se situe au niveau de la cinématique de commande du contacteur.

Le vérin de train auxiliaire et le boîtier de signalisation ont ensuite été démontés pour expertise dans les locaux du constructeur.

2.1.2. Autres investigations

L'analyse du prélèvement de fluide hydraulique du circuit de train n'a pas révélé d'anomalie. Aucun dysfonctionnement du boîtier de signalisation (s/n 91) n'a été constaté lors du test effectué le 31 mars au laboratoire radio SOCATA.

Les investigations sur le circuit de train de l'appareil n° 105 ont montré que l'origine du non verrouillage bas du train auxiliaire est un blocage en position *verrouillé* de la cinématique de commande du contacteur de fin de course bas.

¹² Ceci a été constaté notamment train en position *verrouillé haut*.

¹³ En sortie, la centrale hydraulique fonctionne tant qu'une information « contacteur bas au repos » est générée par un des contacteurs bas.

2.2. Résultats de l'expertise du vérin de train auxiliaire de l'appareil n° 105

L'expertise du vérin s/n 125 a été réalisée dans les locaux du constructeur.

2.2.1. Essais sur le banc hydraulique

Le caractère non permanent de ce blocage a d'abord été constaté car ce contacteur n'était pas en position *verrouillé* lors de son raccordement électrique sur le banc de test hydraulique, vérin partiellement sorti, alors qu'il l'était avant sa dépose de l'avion.

Les essais menés sur ce banc en fonctionnement manuel ont ensuite confirmé le dysfonctionnement du contacteur de fin de course bas.

Lors de ces essais sur banc, une descente du poussoir lors d'une coupure de la pression hydraulique a été constatée.

2.2.2. Expertise du contacteur de fin de course bas

Les radios puis l'ouverture des 2 micro-switchs n'ont pas révélé d'anomalie.

Les principales constatations concernant la cinématique de commande sont les suivantes :

- la bille et le poussoir présentent des points de corrosion en surface¹⁴. Cette corrosion peut être qualifiée de légère. Elle n'affecte pas les caractéristiques dimensionnelles des pièces qui sont dans les limites spécifiées ;
- ces pièces présentent également des points de matage provoqués par leurs mises en contact répétées sur les mêmes zones ;
- les contrôles des matériaux (constitution, dureté, traitements de surface) n'ont pas révélé d'anomalie par rapport aux spécifications techniques, sur le corps, la bille et le poussoir.

La graisse contenue dans le contacteur présente un aspect verdâtre et des traces d'humidité sont constatées. Son analyse révèle une présence majoritaire de particules de silicium, caractéristique d'une pollution à l'air ambiant.

2.2.3. Expertise du contacteur de fin de course haut

Aucune anomalie n'est constatée. La graisse contenue dans le contacteur a un aspect normal.

2.2.4. Inspection interne du vérin

Le démontage du vérin n'a pas révélé d'anomalie des mécanismes internes, notamment sur le système de verrouillage mécanique.

L'analyse du fluide hydraulique ne révèle pas d'anomalie.

¹⁴ Ces pièces sont en acier allié.

L'expertise du vérin de train auxiliaire (s/n 125) de l'appareil n° 105 a montré que :

- **le blocage de la cinématique de commande du contacteur de fin de course bas, constaté lors des essais menés « avion sur vérins », a été reproduit sur le banc hydraulique ; ce blocage n'est pas permanent ;**
- **ce blocage affecte probablement à la fois le poussoir et la bille ;**
- **un défaut d'étanchéité du contacteur de fin de course bas a été constaté, provoquant une altération de la graisse et des points de rouille sur la bille et le poussoir de la commande contacteur.**

Une influence de la pression hydraulique de commande du vérin sur la position axiale du poussoir a été constatée.

2.3. Synthèse des investigations techniques

2.3.1. Causes du blocage du contacteur de l'appareil n° 105

Compte tenu de la température au sol et de l'altitude maximale atteinte lors du tour de piste, la solidification de l'humidité s'étant insérée dans la commande contacteur ne peut être à l'origine du blocage.

La cause du blocage en position *verrouillé* de la cinématique de commande du contacteur bas du vérin de l'appareil n° 105 n'a pas été formellement identifiée.

La corrosion interne et la dilution de la graisse constatées ne semblent pas pouvoir expliquer à elles seules le blocage, mais pourraient être des facteurs contributifs.

2.3.2. Causes des blocages sur l'ensemble des cas étudiés

Les investigations n'ont pas révélé de lien direct et constant entre les anomalies constatées et :

- les conditions d'utilisation (flottes étatique/civile) ;
- les conditions d'environnement (été/hiver, pluie/temps sec, ...).

Sur certains cas rencontrés (appareils 125, 168), l'ampleur de la corrosion interne est telle qu'un lien direct entre le défaut d'étanchéité et le blocage de la cinématique de commande (de l'ensemble mobile poussoir et bille, ou de la bille) ne peut être écarté.

Cependant, dans d'autres cas (appareils 35, 93, 105) pour lesquels une faible corrosion voire l'absence de corrosion sont constatées, la cause des blocages n'a pas été formellement identifiée. L'hypothèse d'un coincement du système poussoir-bille est envisagée. Les facteurs contributifs suivants sont possibles :

- la conception de la cinématique de commande du contacteur. Il apparaît en effet que sont susceptibles de participer à ce phénomène :
 - la force exercée par la bille sur le poussoir perpendiculairement à son axe (force produite par les ressorts des micro-switchs) ;
 - l'antagonisme des forces exercées sur la bille lors de la remontée du poussoir (force exercée par le poussoir et réaction du porte contact sur la bille) ;
 - le sous dimensionnement du ressort situé au-dessus du poussoir (repère 39, cf. annexe 1) dont la force de rappel de celui-ci vers la position *déverrouillé* serait insuffisante ;
- la dégradation du lubrifiant suite à un défaut d'étanchéité, dans certains cas ;
- la perte dans le temps des caractéristiques du ressort du poussoir ;
- l'évolution dans le temps des jeux de fonctionnement.

2.3.3. Influence de la pression hydraulique de commande du vérin sur la position du poussoir

De brefs allumages (« flashes ») de voyants verts durant des séquences de sortie des trains, avant que le vérin concerné ne soit mécaniquement verrouillé, sont signalés par les équipages. L'hypothèse, pour expliquer ce phénomène, d'une action de la pression hydraulique de commande du vérin sur la position du poussoir a été évoquée en 1996 par le constructeur.

Ce phénomène peut expliquer les constatations faites lors de l'expertise du vérin de l'appareil n° 105 (chapitre 2.2.1). Il constitue une anomalie de fonctionnement dans la mesure où il génère, vers le système de signalisation et de commande de la centrale, une information de position *verrouillé* sans verrouillage effectif du vérin.

C'est pourquoi il est possible que ce phénomène, associé à une tendance au blocage du contacteur, ait contribué à l'incident. Il pourrait dans l'avenir contribuer à des incidents similaires.

Synthèse des investigations techniques

Concernant l'incident objet du présent rapport :

- la cause du blocage en position *verrouillé* de la cinématique de commande du contacteur bas du vérin de l'appareil n° 105 n'a pas été formellement identifiée. L'hypothèse d'un coincement de la cinématique de commande est possible. La corrosion interne et la dilution de la graisse constatées pourraient être des facteurs contributifs.
- le phénomène de remontée intempestive du poussoir, probablement sous l'effet de la pression hydraulique de commande, associé à un blocage du poussoir, a pu contribuer à l'incident.

De plus, en considérant les expertises menées suite à des anomalies de signalisation :

- le blocage permanent d'un contacteur a été mis en évidence (appareil n° 125), dont l'origine est probablement le développement d'une importante corrosion interne ;
- le défaut d'étanchéité et ses conséquences sur la corrosion, constatés sur 4 des 5 contacteurs ayant présenté des blocages, dont celui de cet événement, peuvent être soit à l'origine du blocage soit un facteur contributif.

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

L'équipage identifie, lors du contrôle de la rentrée des trains après le décollage, une anomalie du système de signalisation qui motive son annulation de la mission. Il rapporte qu'il avait connaissance des anomalies de signalisation qui se sont produites sur cet appareil (cf. 1.6.2), et que ceci a contribué à sa décision.

Le mémento pilote des procédures de secours¹⁵ prévoit, au chapitre *anomalie à la rentrée du train, si en fin de séquence, une lampe verte reste allumée*, d'effectuer une sortie en confirmation secours¹⁶ puis d'atterrir dès que possible.

Il ressort du témoignage de l'équipage que la séquence normale de sortie des trains ne l'a pas amené à être alerté sur le risque de non verrouillage et, en conséquence, à effectuer cette procédure de confirmation secours.

¹⁵ MCE 127-02, réédition de novembre 1999.

¹⁶ Cette procédure consiste à actionner la commande normale puis à effectuer les actions correspondant à une sortie manuelle. L'actionnement de la pompe manuelle jusqu'au durcissement de la commande garantit le verrouillage mécanique des tiges de vérins, en cas d'anomalie du système de signalisation.

Or, l'analyse de la panne rencontrée (tendance au blocage en position *verrouillé* de la cinématique de commande du contacteur bas du vérin de train avant) montre :

- qu'une signalisation normale en fin de séquence de sortie des trains ne garantit pas leur verrouillage effectif ;
- que le test avec l'inverseur *check down* et les tests TNS ne permettent pas d'identifier une absence de verrouillage bas du train avant ;
- qu'une action sur la pompe manuelle jusqu'au durcissement aurait sans doute permis le verrouillage du train avant.

Il ressort donc de cet événement :

- que lors de la séquence de rentrée, tout retard dans l'extinction d'un voyant vert¹⁷ doit faire suspecter une tendance au blocage d'un contacteur de fin de course, et nécessite l'exécution d'une sortie en confirmation secours, alors que les termes de la procédure *anomalie à la rentrée du train si en fin de séquence, une lampe verte reste allumée* peuvent laisser supposer que la procédure ne s'applique que dans le cas où une lampe verte reste allumée de manière permanente ;
- plus généralement, que la surveillance de la signalisation durant les séquences de rentrée et de sortie des trains et l'exécution d'une sortie en secours en cas d'anomalie, constituent une des barrières contre ce type d'événement.

¹⁷ Les voyants verts doivent s'éteindre très rapidement (de l'ordre de la seconde) après avoir commandé la rentrée. En tout état de cause, ils doivent être éteints avant l'extinction du voyant rouge.

3. CONCLUSION

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

3.1.1. Rappel de l'événement

Ayant détecté après le décollage une anomalie de séquence de rentrée du train, l'équipage annule la mission, sort le train en procédure normale et se présente avec les 3 voyants verts à l'atterrissage ; le train auxiliaire s'efface.

3.1.2. Conclusions des investigations techniques

D'une part, les investigations sur le vérin du train auxiliaire de l'appareil concerné montrent que :

- l'origine du non verrouillage bas du train auxiliaire est un blocage en position *verrouillé* de la cinématique de commande du contacteur de fin de course bas ; ce blocage concerne probablement à la fois le poussoir et la bille ;
- un défaut d'étanchéité de ce contacteur a été constaté, provoquant une altération de la graisse et des points de rouille sur la bille et le poussoir ; ceci ne semble pas pouvoir expliquer le blocage mais a pu y contribuer ;
- une influence de la pression hydraulique de commande du vérin sur la position axiale du poussoir a été constatée.

D'autre part, suite aux investigations menées sur des contacteurs à l'origine d'anomalies de signalisation sur d'autres appareils :

- un blocage permanent a été constaté sur un contacteur haut (appareil n° 125), dont l'origine est probablement le développement d'une importante corrosion interne ;
- au total, un défaut d'étanchéité a été constaté sur 4 des 5 contacteurs ayant présenté des blocages. Ce défaut d'étanchéité est à l'origine d'une corrosion interne et d'une altération de la graisse plus ou moins prononcée.

3.2. Causes de l'événement

Le non verrouillage à la sortie du train auxiliaire résulte du dysfonctionnement du contacteur de fin de course bas, dont la cinématique de commande est restée bloquée en position *verrouillé*.

Bien qu'ayant détecté une anomalie de signalisation lors de la rentrée, l'équipage n'a pas identifié le risque de non verrouillage du train à la sortie et n'a donc pas procédé à une sortie en secours, qui permet le verrouillage effectif des vérins.

La cause du blocage non permanent du contacteur n'a pas été formellement identifiée. L'hypothèse d'un coincement de la cinématique de commande est possible.

Le défaut d'étanchéité constaté et la conception de cette cinématique constituent des facteurs contributifs possibles à l'événement considéré. Par ailleurs, concernant l'ensemble des cas étudiés dans le cadre de cette enquête, il apparaît que le défaut d'étanchéité peut être soit à l'origine du blocage soit un facteur contributif.

Le phénomène de remontée intempestive du poussoir, probablement sous l'effet de la pression hydraulique de commande, associé à un blocage du poussoir, a pu contribuer à l'incident.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

Des recommandations sont émises sur deux axes visant à :

- d'une part, limiter les conséquences d'un dysfonctionnement d'un contacteur de fin de course (4.1.1 à 4.1.3) ;
- d'autre part, améliorer la fiabilité de ces contacteurs (4.1.4 et 4.1.5).

4.1.1. Consignes et formation des équipages TBM 700

Le BEAD-air a recommandé à l'armée de l'air le 21 mars 2008 de mettre en place une consigne provisoire visant à ce que les équipages surveillent systématiquement les séquences de manœuvre et procèdent à une sortie du train en secours en cas d'anomalie.

Cette recommandation est reconduite. Le bureau enquêtes accidents défense air recommande

aux organismes utilisateurs (armée de l'air, ALAT, CEV) de mettre en place une consigne visant à ce que les équipages TBM 700 surveillent systématiquement les séquences de manœuvre et procèdent à une sortie du train en confirmation secours en cas d'anomalie.

En parallèle, le bureau enquêtes accidents défense air recommande

aux organismes utilisateurs (armée de l'air, ALAT, CEV) de mettre en place au profit des équipages TBM 700 un complément de formation sur le fonctionnement du système de train, notamment sur les anomalies de séquence pouvant être rencontrées, en s'appuyant sur le retour d'expérience.

4.1.2. Adoption d'une modification visant à alerter l'équipage en cas de dysfonctionnement d'un contacteur de vérin de relevage

Dans le scénario de cet incident, les fonctionnalités du boîtier de commande train de type plus récent (modification 70-021-32) que celui équipant la flotte étatique aurait permis, dès la phase de rentrée du train, d'alerter l'équipage sur le dysfonctionnement du système de signalisation (allumage persistant de la lampe rouge résultant de la détection par ce boîtier de l'incohérence des positions des contacteurs haut et bas).

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande

à l'autorité technique et aux organismes utilisateurs d'appliquer la modification du boîtier A14 de commande train du TBM 700, visant à alerter l'équipage en cas de dysfonctionnement d'un contacteur.

4.1.3. Maintenance des contacteurs

La révision des contacteurs est réalisée lors de la révision générale des vérins. Or, le pas de maintenance a été défini par rapport à des critères liés au vérin, et non aux contacteurs.

Le caractère non permanent du blocage de certains contacteurs fait que la maintenance selon état ne permet pas de se prémunir efficacement d'un défaut.

Le programme de maintenance des contacteurs ne permet pas la maîtrise de l'évolution des caractéristiques du ressort de rappel du poussoir et celle des jeux de fonctionnement.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande

à l'autorité technique et aux organismes utilisateurs d'étudier et de mettre en œuvre une adaptation du programme de maintenance des contacteurs de fin de course.

4.1.4. Amélioration de l'étanchéité des contacteurs de fin de course

Les investigations ont confirmé que les contacteurs, dans la définition des appareils étatiques, présentent un défaut d'étanchéité. L'entrée d'humidité peut constituer soit une cause directe de blocage de la cinématique (par corrosion et altération du lubrifiant, ou également par le gel), soit un facteur contributif.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande

à l'autorité technique et aux organismes utilisateurs d'introduire l'amendement N visant à étancher les contacteurs de fin de course¹⁸.

4.1.5. Investigations complémentaires visant à la détermination des causes des blocages des contacteurs de fin de course

Le (ou les) phénomène(s) à l'origine des dysfonctionnements des contacteurs de fin de course sont complexes. Leur détermination nécessite une analyse systématique des cas rencontrés et le lancement d'une étude de fond.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

au constructeur :

- **de mener un plan d'actions visant à la détermination de la (des) cause(s) racine(s) de dysfonctionnement des contacteurs, ainsi que de l'origine des flashes de voyants verts ; notamment, de procéder systématiquement à l'expertise des vérins susceptibles de présenter un dysfonctionnement d'un contacteur de fin de course ;**
- **de proposer les mesures correctives associées.**

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

Néant.

¹⁸ Cet amendement a été appliqué sur une quarantaine d'appareils civils depuis mi-2007.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Description partielle des atterrisseurs de TBM 700 _____	24
ANNEXE 2 : Historique des effacements de train dans la flotte TBM 700 _____	27
ANNEXE 3 : Cas récents d'anomalies de signalisation de train dans la flotte étatique _____	28

ANNEXE 1

Description partielle des atterrisseurs de TBM 700

1. GENERALITES

L'avion est équipé d'un train d'atterrissage escamotable composé d'un train auxiliaire et de trains principaux.

Chaque train est équipé d'un vérin hydraulique¹⁹ à double verrouillage interne qui assure la manœuvre et les verrouillages haut et bas de la jambe.

La pression hydraulique de manœuvre des vérins est assurée :

- en normal par une centrale électro-hydraulique à bêche incorporée ;
- en secours par une pompe à main alimentée par une bêche auxiliaire²⁰.

Chaque vérin est équipé de 2 contacteurs de fin de course « haut » et « bas » qui génèrent des informations électriques vers le système de signalisation et de commande de la centrale.

2. DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT DES CONTACTEURS DE FIN DE COURSE

Un contacteur (repère 36) est constitué de 2 micro-switchs. Il est vissé dans un porte-contacteur (repère 42) qui est fixé sur le corps du vérin.

Lorsque la tige du vérin atteint sa fin de course, en rentrée ou en sortie, un piston de verrouillage, interne au vérin, assure son blocage mécanique.

Ce piston provoque alors l'actionnement de la cinématique de commande : le poussoir (repère 46) monte en repoussant la bille (repère 37), qui actionne simultanément les 2 micro-switchs.

Lors du déverrouillage, le retrait du piston de verrouillage autorise la descente du poussoir. Celle-ci est provoquée par le ressort (repère 39) et les ressorts internes des micro-switchs.

¹⁹ Les 3 vérins sont de même type, notamment en ce qui concerne les contacteurs de fin de course.

²⁰ En cas de dysfonctionnement d'un contacteur de fin de course, l'application de la procédure de sortie en secours garantit le verrouillage du train.

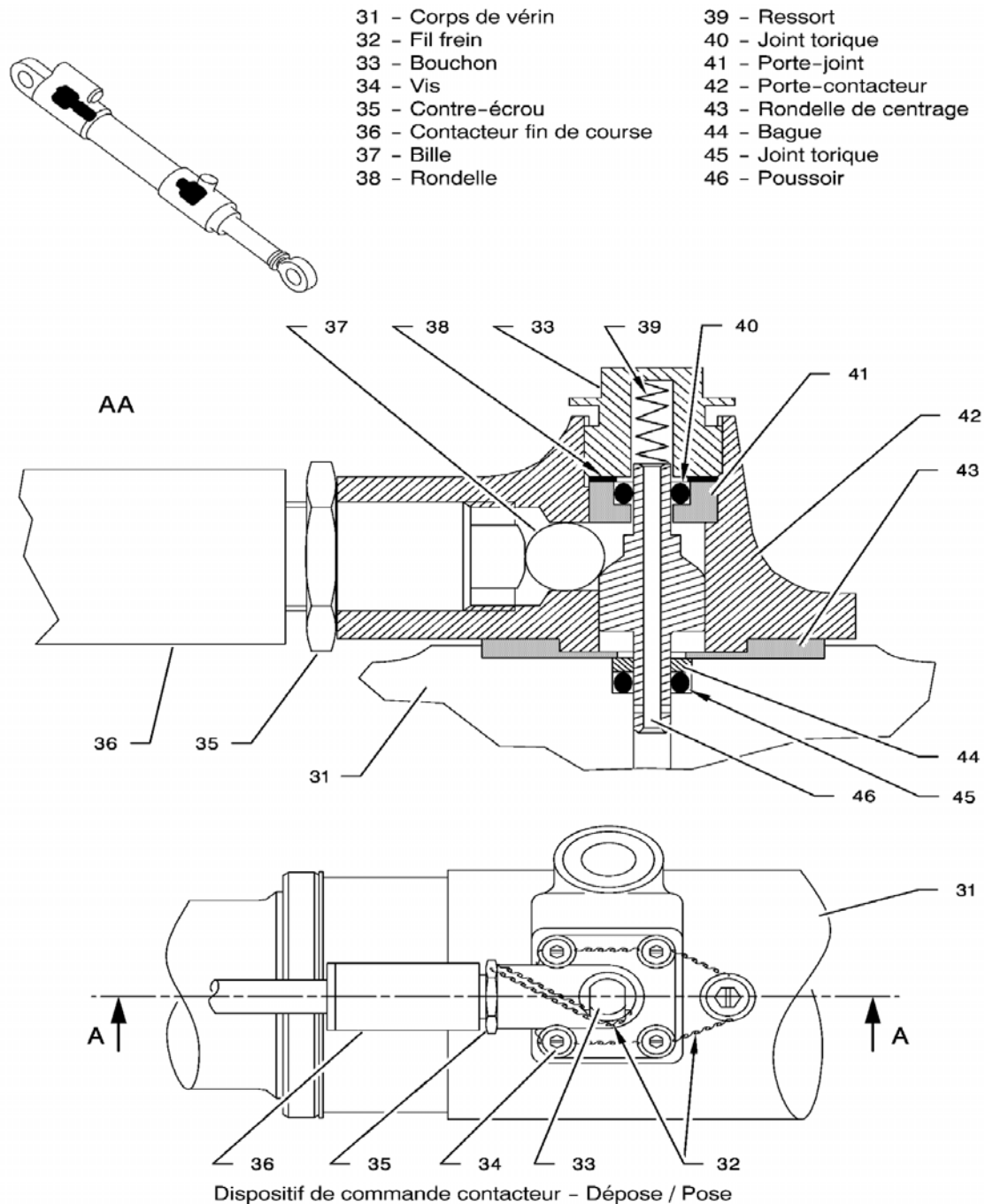


Schéma du dispositif de commande contacteur

3. DESCRIPTION DES SEQUENCES DE RENTREE ET SORTIE EN VOL

Cycle de rentrée :

Train sorti verrouillé : les 3 voyants verts sont allumés au travers d'un des deux contacts des contacteurs de fin de course bas en position verrouillés ;

- Basculement de la palette sur « up » ⇒ mise en route de la centrale électro-hydraulique (au travers des contacts repos des contacteurs hauts) ⇒ la pression hydraulique alimente les 3 vérins ;

- déverrouillage bas du premier train \Rightarrow extinction du voyant vert correspondant (passage au repos du contacteur bas concerné) et allumage quasi simultané du voyant rouge (au travers des contacts repos des deux contacteurs bas et haut du train concerné) ;
- déverrouillage bas des deux autres trains \Rightarrow extinction des deux autres voyants verts ;
- les trains montent ; les deux premiers trains se verrouillent haut ;
- verrouillage haut du dernier train \Rightarrow quasi simultanément, extinction du voyant rouge et arrêt de la centrale.

Cycle de sortie :

- Basculement de la palette sur « down » \Rightarrow mise en route de la centrale électro-hydraulique (à travers les contacts repos train verrouillé bas) ; la pression hydraulique alimente les 3 vérins ;
- déverrouillage haut du premier vérin \Rightarrow allumage du voyant rouge ;
- déverrouillage haut des trains principaux ;
- les trains descendent ;
- verrouillage bas des trains principaux \Rightarrow allumages des voyants verts correspondants ;
- verrouillage bas du train auxiliaire²¹ \Rightarrow allumage du voyant vert correspondant et, quasi simultanément, extinction du voyant rouge et arrêt de la centrale.

On peut noter que :

- la durée de la séquence varie de 10 à 15 secondes ;
- à la rentrée, l'extinction des trois voyants verts doit être rapide (deux secondes au maximum), et doit dans tous les cas être antérieure à l'extinction du voyant rouge ;
- le voyant rouge allumé signifie qu'au moins un des trains n'est ni rentré ni sorti (ses 2 contacteurs, haut et bas, sont en position repos, non verrouillé).

²¹ Le train auxiliaire est généralement le dernier à se verrouiller sorti en vol, étant donné les efforts aérodynamiques subis. Il se verrouille sorti en premier lors des opérations de maintenance au sol.

ANNEXE 2

Historique des effacements de train dans la flotte TBM 700

Il s'agit du premier événement de ce type dans la flotte étatique.

Trois autres sont recensés par le constructeur dans la flotte civile :

- Juin 2006 – USA – appareil n° 168 ;
- Septembre 2007 – Le Bourget – appareil n° 145 ;
- Mars 2008 – Alderney – appareil n° 302.

D'après les éléments recueillis auprès du constructeur et du BEA, concernant ces trois événements :

- un dysfonctionnement d'un contacteur de fin de course du vérin de relevage du train auxiliaire²² a été identifié dans chacun des scénarios ;
- les appareils concernés étaient équipés d'un boîtier de commande comportant une fonction de détection du dysfonctionnement d'un contacteur et d'alerte de l'équipage par l'allumage continu du voyant rouge du boîtier de commande²³.

Le rapport d'enquête technique concernant l'incident de l'appareil n° 145 accidenté au Bourget²⁴ identifie une analyse erronée de la panne étant donné que l'allumage continu du voyant rouge n'a pas amené le pilote à procéder à une sortie secours.

Concernant les principaux résultats des expertises des vérins suite à ces événements :

- appareil n° 168 – vérin s/n 618 : une corrosion très prononcée de la cinématique de commande du contacteur bas a été identifiée (bille et poussoir) ;
- appareil n° 145 : l'expertise des micro-switchs n'a pas montré d'anomalie ; aucun rapport d'expertise des contacteurs n'a pu être exploité dans le cadre de l'enquête objet du présent rapport ;
- appareil n° 302 : une enquête technique est en cours, conduite par *l'Air Accidents Investigation Branch* (AAIB).

²² Il est possible que la même cause (blocage du contacteur) se soit produite sur les trains principaux d'un certain nombre d'appareils, mais sans conduire au non verrouillage de ceux-ci, car la centrale hydraulique ne se coupe qu'à la sortie du dernier train, qui est en généralement le train avant en vol.

²³ Les appareils civils concernés sont équipés d'un boîtier de commande d'un type plus récent (modification 70-021-32) que celui équipant les appareils de la défense. En cas d'allumage persistant du voyant rouge, signalant une incohérence de position des contacteurs d'un même vérin, le manuel de vol prévoit l'exécution d'une procédure de secours.

²⁴ Enquête technique conduite par le BEA.

ANNEXE 3

Cas récents d'anomalies de signalisation de train dans la flotte étatique

1. ANOMALIE DE SIGNALISATION A LA RENTREE DU TRAIN (APPAREIL N° 93, ARMEE DE L'AIR)

Le 25 mars 2008, au décollage, l'équipage constate à la rentrée du train que le voyant vert du train principal gauche reste allumé environ 5 secondes après l'extinction du voyant rouge. Il annule la mission et applique la procédure de secours « *anomalie à la rentrée de train / en fin de séquence de rentrée, une lampe verte reste allumée* » qui consiste notamment à actionner la pompe manuelle jusqu'au durcissement, ce qui garantit le verrouillage effectif des trains. L'appareil se pose normalement.

L'anomalie est reproduite une fois lors des essais au sol en unité. Les principales conclusions de l'examen du vérin s/n 505, issues des informations recueillies auprès du constructeur, sont les suivantes :

- les contacteurs haut et bas fonctionnent correctement au banc, en manuel et en automatique ;
- le poussoir du contacteur bas présente une légère corrosion sur son plus grand diamètre.

Temps/nombre d'atterrissages depuis RG (vérin s/n 505) : 2 ans et 6 mois / 538 atterrissages.

2. ANOMALIE DE SIGNALISATION A LA RENTREE DU TRAIN (APPAREIL N° 35, ALAT)

L'événement et le traitement de l'anomalie par l'équipage, le 26 mars 2008, sont similaires à ceux de l'appareil n° 93, excepté qu'il concerne le train auxiliaire. L'équipage rapporte avoir manœuvré trois fois la pompe manuelle, ce qui signifie que les trains étaient vraisemblablement verrouillés avant cette confirmation en secours.

Les principales conclusions de l'examen du vérin, issues des informations recueillies auprès du constructeur, sont les suivantes :

- les contacteurs haut et bas fonctionnent correctement au banc, en manuel et en automatique ;
- les pièces internes ne sont pas corrodées.

3. ANOMALIE DE SIGNALISATION EN SORTIE DE TRAIN (APPAREIL N° 125, ARMEE DE L'AIR)

Le 22 avril 2008, en fin de séquence de sortie du train, l'équipage constate que le voyant vert du train auxiliaire s'allume deux secondes après l'extinction du voyant rouge. L'équipage commande la rentrée qui se déroule normalement. La même anomalie se reproduit à la sortie. L'équipage rapporte avoir manœuvré quatre fois la pompe manuelle, ce qui signifie que les trains étaient vraisemblablement verrouillés avant cette confirmation en secours.

L'analyse de cette anomalie de séquence a permis d'envisager l'hypothèse d'un blocage du contacteur haut du vérin²⁵, qui a été confirmée par l'expertise du vérin. Les principales conclusions de cette expertise sont les suivantes :

- concernant le contacteur haut :
 - aucune anomalie n'est constatée sur les 2 micro-switchs ;
 - au banc de test, l'information « vérin rentré » est générée par les micro-switchs alors que la tige de vérin est sortie ;
 - cette information erronée est due au blocage de la bille dans le porte contacts ; le poussoir est également bloqué²⁶ ;
 - ces pièces sont fortement corrodées ;
 - des agglomérats de graisse et de rouille sont constatés sur le poussoir.
- concernant le contacteur bas :
 - la bille et le poussoir sortent facilement du porte contact ;
 - le poussoir présente un dépôt couleur rouille sur sa partie conique ;
 - la bille présente des piqûres de rouille.

L'ampleur de la corrosion constatée dans le porte contact du contacteur haut semble indiquer que le blocage n'est pas récent et a ensuite favorisé la progression de la corrosion. La logique du système de signalisation (sur les appareils étatiques) a en effet permis, malgré le dysfonctionnement de ce contacteur :

- que le train manœuvre correctement en vol et au sol ;
- qu'une anomalie de signalisation ne soit détectée par l'équipage que lorsque le temps entre l'extinction du voyant rouge et le verrouillage bas du train avant a été suffisant (un temps de 2 secondes est rapporté par l'équipage) ;
- que cette anomalie soit également difficilement détectable lors d'une opération de maintenance au sol.

L'origine du blocage de la bille et du poussoir (contacteur haut) n'a donc pas été formellement identifiée, mais une corrosion suffisamment avancée pour bloquer la cinématique reste une hypothèse possible.

Temps/nombre d'atterrissages depuis RG (vérin s/n 11) : 5 ans et 5 mois / 2041 atterrissages.

²⁵ Le voyant rouge s'est éteint lors du verrouillage bas des trains principaux car le train auxiliaire n'est pas à cet instant détecté par le circuit comme étant en manœuvre (l'extinction de ce voyant s'est produite au travers du contacteur haut du train avant, bloqué, et des contacteurs bas des trains principaux). La centrale hydraulique a ensuite continué à fonctionner jusqu'au verrouillage bas du train auxiliaire.

²⁶ L'application d'un effort de 70 N est nécessaire pour extraire le poussoir ; la bille doit être extraite au chasse-goupille (effort supérieur à 100 N).