



*Liberté • Égalité • Fraternité*

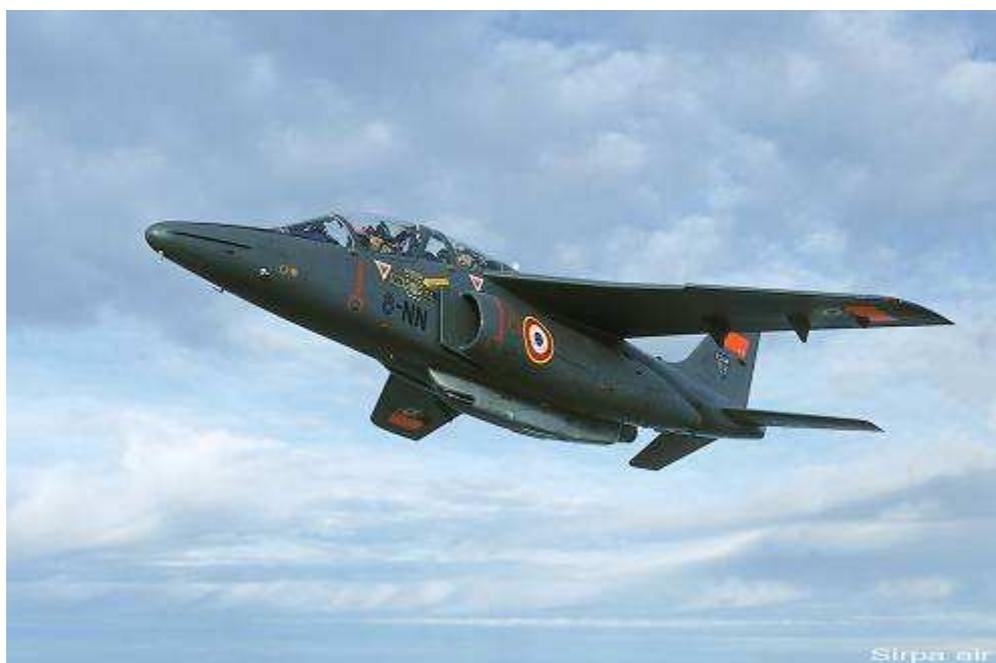
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

# BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

## RAPPORT D'ENQUÊTE TECHNIQUE



### BEAD-air-A-2011-002-I

<b>Date de l'événement</b>	<b>31 janvier 2011</b>
<b>Lieu</b>	<b>base aérienne 705 - Tours (37)</b>
<b>Type d'appareil</b>	<b>Alphajet</b>
<b>Immatriculation</b>	<b>F-TETF</b>
<b>Organisme</b>	<b>armée de l'air</b>
<b>Unité</b>	<b>école de l'aviation de chasse 00.314</b>

## AVERTISSEMENT

### COMPOSITION DU RAPPORT

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

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

### UTILISATION DU RAPPORT

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

---

## CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page de garde : SIRPA-air.

Photos :

Pages 14 et 15 : BEAD-air.

Illustrations :

Pages 13 et 27 : BEAD-air.

**TABLE DES MATIERES**

AVERTISSEMENT	2
CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS	2
TABLE DES MATIERES	3
GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS	5
1. Renseignements de base	6
1.1. Déroulement du vol	6
1.2. Tués et blessés	8
1.3. Dommages à l'aéronef	8
1.4. Autres dommages	8
1.5. Renseignements sur le personnel	9
1.6. Renseignements sur l'aéronef	10
1.7. Conditions météorologiques	11
1.8. Aides à la navigation	12
1.9. Télécommunications	12
1.10. Enregistreurs de bord	12
1.11. Renseignements sur l'aérodrome	12
1.12. Renseignements sur l'épave et sur l'impact	12
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	15
1.14. Incendie	15
1.15. Questions relatives à la survie des occupants	16
1.16. Essais et recherches	16
1.17. Renseignements sur les organismes	16
1.18. Renseignements supplémentaires	16
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	16
2. Analyse	17
2.1. Nature de la panne constatée par l'équipage	17
2.2. Séquence de l'événement	19
2.3. Recherche des causes de la sortie de piste relevant du domaine des facteurs humains	20
3. Conclusion	24
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement	24
3.2. Causes de l'événement	24
4. Recommandations de sécurité	25
4.1. Dysfonctionnement du dispositif de freinage de l'appareil	25
4.2. Application des procédures aux situations d'urgence	25
ANNEXES	26
ANNEXE 1 LISTE DES EQUIPEMENTS OBJETS D'INVESTIGATIONS TECHNIQUES	27
ANNEXE 2 INVESTIGATIONS MENEES SUR L'ALPHAJET N° E45	28
ANNEXE 3 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU DISPOSITIF DE FREINAGE DE L'ALPHAJET	31

**GLOSSAIRE**

BEAD-air	bureau enquêtes accidents défense air
CFA	commandement des forces aériennes
EAC	école de l'aviation de chasse
EIV	escadron d'instruction en vol
EPI	enquêteur de première information
ft	<i>feet</i> – pied ; 1ft $\approx$ 0,3 mètre
ILS	<i>instrument landing system</i> – système d'atterrissage aux instruments
kt	<i>knot</i> – noeud ; 1kt $\approx$ 1,852 km/h
MODISTOP	système de contrôle de freinage antidérapant
Nm	<i>nautical mile</i> – mille nautique ; 1 Nm $\approx$ 1,852 km
SIMMAD	structure intégrée de maintien en condition opérationnelle des matériels aéronautiques et associés du ministère de la défense

## SYNOPSIS

Date et heure de l'événement : 31 janvier 2011 vers 16 h 15  
Lieu de l'événement : base aérienne 705 de Tours (37)  
Organisme : armée de l'air  
Commandement organique : commandement des forces aériennes (CFA)  
Unité : école de l'aviation de chasse (EAC) – 2<sup>ème</sup> escadron d'instruction en vol (EIV)  
Aéronef : Alphajet n° E45  
Nature du vol : séance d'instruction – vol en formation  
Nombre de personnes à bord : deux

### Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Lors de l'atterrissage en patrouille serrée à l'issue d'un vol d'instruction, l'avion de l'équipier sort de piste à faible vitesse 1 200 mètres avant l'extrémité de cette dernière. Les deux membres d'équipage évacuent l'avion, indemnes. La roue de l'atterrisseur principal gauche de l'aéronef est endommagée.

### 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).
- Un officier pilote ayant une expertise sur l'Alphajet.
- Un officier mécanicien ayant une expertise sur l'Alphajet.
- Un mécanicien ayant une expertise sur le circuit de freinage de l'Alphajet.
- Un médecin du personnel navigant.

### Autres experts consultés

Messier-Bugatti-Dowty

### Déclenchement de l'enquête technique

Le bureau maîtrise des risques de l'armée de l'air a informé le BEAD-air de l'événement à 17 h 27. Un EPI de la base aérienne 705 s'est immédiatement rendu sur le lieu de l'événement.

### Enquête judiciaire

Un officier de police judiciaire de la brigade de gendarmerie de l'air de la BA 705 a été commis. Le parquet n'a pas procédé à l'ouverture d'une enquête judiciaire.

## **1. RENSEIGNEMENTS DE BASE**

### **1.1. Déroulement du vol**

#### 1.1.1. Mission

Indicatif mission : Mafia Mike

Type de vol : vol d'instruction - vol en formation

Type de mission : séance FT 13

Dernier point de départ : base aérienne 705 - Tours

Point d'atterrissage prévu : base aérienne 705 - Tours

#### 1.1.2. Déroulement

En l'absence d'enregistreur de paramètres, le déroulement du vol et la description de la séquence des événements reposent sur les témoignages des membres d'équipage de la patrouille et des contrôleurs de circulation aérienne présents à la vigie du contrôle aérien de la base aérienne lors de l'événement.

##### 1.1.2.1. Préparation du vol

La mission consiste en un vol « pré-test » du premier module de formation. Il s'agit d'une révision des exercices appris au cours de cette phase d'instruction. L'équipage est composé d'un élève en place avant et d'un moniteur en place arrière.

Le briefing est effectué une heure avant le décollage et comporte deux parties :

- la première, concerne le moniteur et l'élève et dure environ 15 minutes. Elle aborde les objectifs pédagogiques de la mission ainsi que les points particuliers des différents exercices du vol ;
- la deuxième, de la même durée, est réalisée par le leader de la formation. Les points particuliers nécessaires au bon déroulement de la mission sont décrits et expliqués. Les mesures de sécurité sont abordées, notamment la gestion des pannes à deux avions. Un rappel sur la sécurité lors de l'atterrissage en patrouille serrée est effectué.

Un rappel de la procédure à appliquer en cas de panne de freinage au décollage est fait au point de manœuvre, avec une action sur le frein secours appliquée en place avant par l'élève.

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

A bord de l'aéronef, l'élève est installé en place avant, le moniteur en place arrière. A l'issue du travail sur zone, la patrouille demande une prise en compte par le contrôle d'approche de la base de Tours pour une présentation de type *instrument landing system* (ILS – système d'atterrissage aux instruments) en piste 20.

Compte tenu des conditions météorologiques, le terrain est « jaune spécial ». Le numéro 2 est positionné à gauche de l'avion leader pour la descente et la percée, en raison du virage de procédure par la droite nécessaire pour la présentation sur l'axe ILS en piste 20. La patrouille se présente sur l'axe ILS à 10 Nm. La sortie du train d'atterrissage et des volets s'effectue en *instrument meteorological conditions* (IMC - conditions météorologiques de vol aux instruments –) sur signal visuel. La descente débute à 6,2 Nm du seuil de piste. Le leader acquiert le visuel de la piste à 700 ft et poursuit sa finale ILS jusqu'aux minima (350 ft). La patrouille continue sa descente avec une vitesse de 130 kt et une incidence de 7°.

### 1.1.2.3. Reconstitution de la partie significative de la trajectoire

A la verticale du prolongement d'arrêt de la piste, le leader annonce « 2 up to you, 125, 8° », laissant ainsi le numéro 2 prendre son atterrissage à son compte. Le numéro 2 se pose sur le seuil ILS avec une vitesse de 110 kt. Le leader touche légèrement après le seuil ILS à la même vitesse. Il conserve une assiette de 7°. L'atterrissage de l'avion n° 2 est considéré par les deux équipages comme étant un peu long mais demeurant cependant dans la normalité pour un atterrissage en patrouille serrée.

L'avion n° 2 effectue un bref freinage aérodynamique avant de poser l'atterrisseur auxiliaire vers 100 kt. Il débute aussitôt un freinage mécanique afin de prendre du retrait avec son leader. L'élève effectue alors un premier test souple de freinage en appliquant peu d'effort sur les pédales du palonnier, selon la procédure en vigueur. Ce premier test apparaît inefficace. Il recommence alors le test de façon plus prononcée. Ce deuxième test est lui aussi sans effet.

Le moniteur ne constatant pas la décélération de l'avion, demande à l'élève de freiner rapidement. L'élève répond au moniteur que les freins ne fonctionnent pas. Le moniteur annonce « J'ai les commandes ». A cet instant l'élève a déjà actionné la poignée de frein secours compte tenu de la proximité perçue des deux avions (une vingtaine de mètres). Il entend l'annonce du moniteur mais continue son action sur la poignée. Le moniteur actionne alors sa poignée frein secours tout en constatant qu'elle n'est plus dans la position initiale et que le voyant frein est déjà allumé. La vitesse est alors de 85 kt.

A cet instant le leader aperçoit dans ses rétroviseurs une fumée blanche provenant du train d'atterrissage de son équipier et poursuit sans freiner. Il constate alors que l'avion n° 2 prend du retrait et semble effectuer des embardées vers la droite.

Le moniteur en place arrière de l'avion n° 2 maintient l'axe à la direction. Soudain, à vitesse de roulage, l'avion fait une brusque embardée vers la gauche et sort de la piste 1 200 mètres avant l'extrémité de celle-ci. L'avion s'immobilise à trois mètres de la limite gauche de la piste.

Le moniteur annonce la sortie de piste par radio, demande à l'élève d'évacuer et coupe les moteurs. L'élève actionne les deux coupe-feu et abaisse la barrette de coupure de la génération électrique. Les deux pilotes évacuent l'avion.

### 1.1.3. Localisation

- Lieu : aérodrome de Tours-Val-de-Loire
  - coordonnées géographiques :
    - N 47° 26' 11''
    - E 000° 43' 33''
  - altitude du lieu de l'événement : 357 ft
- Moment : jour

### 1.2. Tués et blessés

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

### 1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
Alphajet E45			X	

### 1.4. Autres dommages

Sans objet.

## 1.5. Renseignements sur le personnel

### 1.5.1. Membres d'équipage de conduite

#### 1.5.1.1. Pilote moniteur

- Age : 36 ans
- Sexe : masculin
- Unité d'affectation : EAC - 2<sup>ème</sup> EIV
- Fonction dans l'unité : commandant d'escadrille
- Qualification : chef de patrouille
- Formation moniteur : catégorie A2 en octobre 2008
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tous types	dont sur Alphajet	sur tous types	dont sur Alphajet	sur tous types	dont sur Alphajet
Total (h)	3 000	1 167	101	101	12	12
Dont nuit	162	51	3	3	0	0
Dont VSV	320	210	12	12	4	4
Dont instruction	1 400	800	90	90	10	10

- Date du dernier vol comme pilote sur l'aéronef :
  - de jour : 30 janvier 2011
  - de nuit : 23 novembre 2010
- Carte de circulation aérienne :
  - type : carte verte
  - date d'expiration : 30 juin 2011

## 1.5.1.2. Elève pilote

- Age : 26 ans
- Sexe : masculin
- Unité d'affectation : EAC - 2<sup>ème</sup> EIV
  - fonction dans l'unité : élève pilote
  - arrivée en école : septembre 2010
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tous types	dont sur Alphajet	sur tous types	dont sur Alphajet	sur tous types	dont sur Alphajet
Total (h)	331	51	51	51	17	17
Dont nuit	10	0	0	0	0	0
Dont VSV	15	8	8	8	1	1
Dont patrouille serrée	5	2	2	2	1	1

- Date du dernier vol comme pilote sur l'aéronef :
  - de jour : 28 janvier 2011
  - de nuit : aucun vol de ce type n'a été effectué par l'intéressé sur Alphajet
- Carte de circulation aérienne : sans

**1.6. Renseignements sur l'aéronef**

- Organisme : armée de l'air
- Commandement d'appartenance : CFA
- Base aérienne de stationnement : BA 705 – Tours
- Unité d'affectation : escadron de soutien technique aéronautique (ESTA) 15-314
- Type d'aéronef : Alphajet

## - Caractéristiques :

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales
Cellule	-	E45	5 972 h 58
Moteur 1 droit	Larzac 04C6	41493	4 077 h 33
Moteur 2 gauche	Larzac 04C6	41331	5 120 h 31

## 1.6.1. Maintenance

L'examen de la documentation technique de l'avion fait état d'un programme d'entretien conforme aux normes et directives en vigueur.

Le recueil de l'historique des interventions concernant le circuit de freinage fait apparaître les éléments techniques notables suivants :

- échange standard du bloc de frein droit suite à usure, le 30 novembre 2010 ;
- dépannage pour freinage non symétrique, le 3 novembre 2010 ;
- pose du boîtier de régulation du freinage MODISTOP en mars 2002.

## 1.6.2. Carburant

- Type de carburant utilisé : F34
- Quantité de carburant au décollage : 1 650 litres
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : 700 litres

**1.7. Conditions météorologiques**

## 1.7.1. Situation générale

Situation anticyclonique dirigeant un flux de nord-est faible. Une couche nuageuse de stratus est bloquée sous une inversion de subsidence assez marquée. Le profil de température et d'humidité de la masse d'air indique une forte probabilité de givrage modéré à très basse altitude.

## 1.7.2. Observations

Vent venant du 040° pour 3 kt, brume, visibilité de 2 500 m, humidité 85 %, couvert par des stratus entre 800 et 1 000 ft, température -2 °C, point de rosée -4 °C.

Les équipages ont constaté la présence d'une couche nuageuse entre 2 000 et 800 ft sans givrage lors de la percée.

## **1.8. Aides à la navigation**

Sans objet.

## **1.9. Télécommunications**

Sans objet.

## **1.10. Enregistreurs de bord**

L'Alphajet n'est équipé d'aucun enregistreur de vol.

## **1.11. Renseignements sur l'aérodrome**

La piste était sèche lors de l'événement.

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

### **1.12.1. Examen de la zone**

L'avion est immobilisé dans l'herbe à quelques mètres du bord gauche de la piste 20, à 335 mètres des marques de transition.

Trois traces noires sont relevées sur la piste 20 (figure 1) :

- la première, d'une longueur de 231 mètres est continue. Elle débute 28,5 m après les marques de transition et à 7 mètres du bord gauche de la piste (photo 1 et 2) ;
- la deuxième, d'une longueur de 30 mètres est parallèle à la première trace dont elle est distante de 2,7 m. Elle est continue sur une quinzaine de mètres puis discontinue sur le reste de sa longueur (photo 3) ;
- la troisième (photo 4), d'une longueur de 46 mètres débute à une trentaine de mètres de l'extrémité de la 2<sup>ème</sup> trace, s'incurve vers la gauche et s'achève sur le bord gauche de la piste.

Cette dernière trace se prolonge de quelques mètres dans la zone en herbe et se termine sous la roue principale gauche de l'avion.

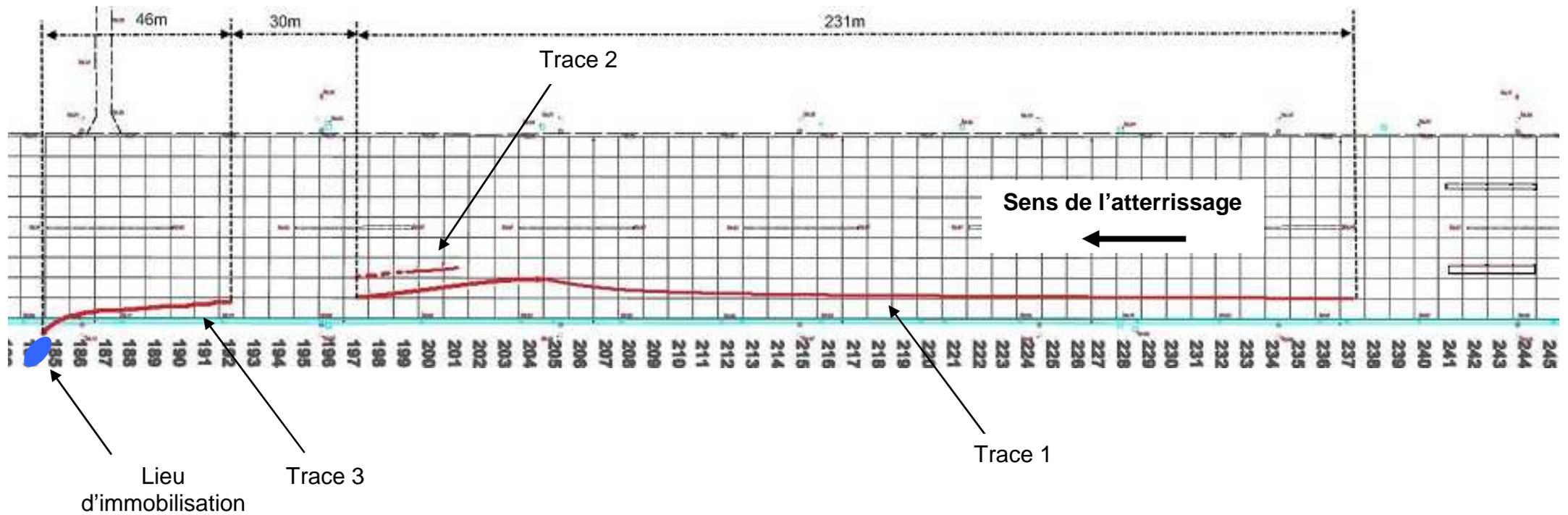
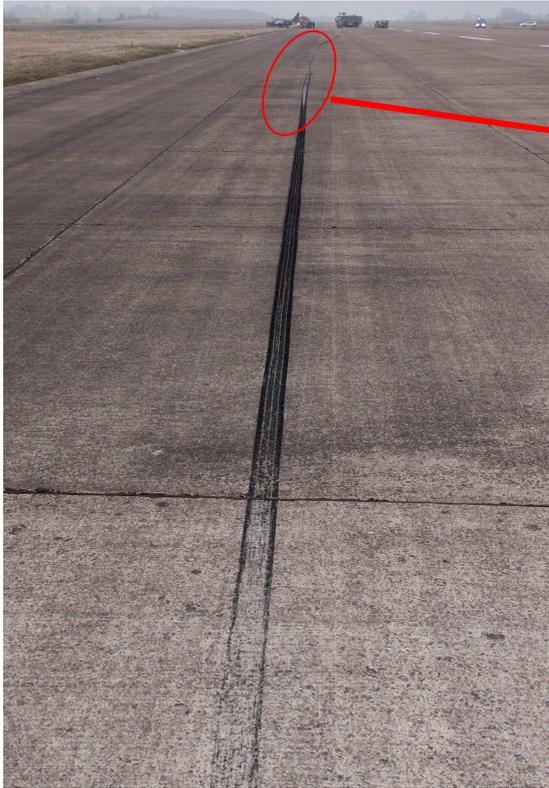


Figure 1 – Représentation schématique des traces relevées sur la pise 20



Photos 1 et 2 – Trace 1



Photo 3 – Trace 2



Photo 4 – Trace 3

### 1.12.2. Examen de l'avion

Les dégâts sont limités à la roue de l'atterrisseur principal gauche. Le pneu est éclaté et déjanté. La jante est usinée.



Photos 5 et 6 – Roue principale gauche

### 1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

Les deux membres de l'équipage de l'Alphajet n° E45 étaient à jour de leurs visites médicales d'aptitude et ne présentaient pas d'affection ou trouble ayant pu intervenir dans le mécanisme de l'événement.

En l'absence d'enquête judiciaire, les prélèvements et examens biologiques n'ont pas été effectués.

### 1.14. Incendie

Sans objet.

## **1.15. Questions relatives à la survie des occupants**

### **1.15.1. Abandon de bord**

L'avion immobilisé, les pilotes ouvrent les verrières et quittent le bord sans précipitation.

### **1.15.2. Organisation des secours**

Stationnés à quelques centaines de mètres de l'endroit d'immobilisation de l'avion, les pompiers arrivent rapidement sur les lieux. Les secours médicaux les rejoignent quelques minutes plus tard, la distance qui sépare le centre médical de la tour de contrôle nécessitant un délai de parcours proche de cinq minutes.

## **1.16. Essais et recherches**

Afin de déterminer l'origine du défaut de freinage constaté par l'équipage, les équipements<sup>1</sup> du circuit de freinage de l'Alphajet n° E45, le boîtier MODISTOP associé et une génératrice tachymétrique de l'Alphajet E110 ont été déposés et soumis à un examen technique chez l'industriel.

## **1.17. Renseignements sur les organismes**

Sans objet.

## **1.18. Renseignements supplémentaires**

Il a été recensé 23 dysfonctionnements du dispositif de freinage équipant la flotte d'Alphajet stationnée à Tours, entre janvier 2010 et janvier 2011, dont 11 sont survenus au cours de ce dernier mois, sans toutefois, provoquer de sortie de piste.

Les symptômes des dysfonctionnements recensés ont trait à :

- l'insuffisance de l'efficacité des freins lorsque les moteurs fonctionnent à plein régime ;
- le test « frein » négatif ;
- l'inefficacité des freins à l'atterrissage ou au roulage.

Si certains de ces dysfonctionnements n'ont pas été reproduits par les opérateurs de maintenance, les autres ont donné lieu à des interventions selon les cartes de travail en vigueur.

## **1.19. Techniques spécifiques d'enquête**

Sans objet.

<sup>1</sup> La liste des équipements ayant fait l'objet d'un examen technique figure en annexe 1.

## 2. ANALYSE

Lors d'un poser en patrouille serrée, l'avion en position de numéro 2 effectue une sortie de piste après que l'équipage a été confronté à l'inefficacité des actions de freinage aux palonniers.

L'objet de cette analyse est de :

- déterminer la nature de la panne de freinage rapportée par l'équipage ;
- définir la séquence de l'événement ;
- rechercher les causes de la sortie de piste dans le domaine des facteurs humains.

### 2.1. Nature de la panne constatée par l'équipage

Les premières investigations<sup>2</sup> sur l'avion n'ont pas permis de détecter de dysfonctionnement du dispositif de freinage<sup>3</sup>. Afin de déterminer précisément la nature de la panne et au regard de l'historique des pannes rencontrées dans ce domaine sur la flotte Alphajet stationnée à Tours, tous les équipements du dispositif ont fait l'objet d'un examen technique chez l'industriel.

#### 2.1.1. Investigations menées sur l'avion

- Inspection visuelle

L'inspection visuelle des équipements (blocs de frein droit et gauche, capots des génératrices tachymétriques, systèmes d'entraînement des génératrices, commutateurs d'amortisseurs) et de l'état extérieur des câblages électriques, n'a pas révélé d'anomalie.

- Circuit hydraulique

La pression hydraulique dans le circuit, le fonctionnement de la commande de freinage en modes normal et secours ainsi que le fonctionnement de la priorité du circuit secours 2 sur le circuit 1 sont conformes. Il n'est pas constaté de dissymétrie de pression en normal et en secours, ni de présence d'air dans les circuits. La qualité du liquide hydraulique, appréciée par contrôle de son niveau de pollution, est admissible (circuit 1 : classe 4 - circuit 2 : classe 3).

- Installation électrique

Les contrôles réalisés à l'aide de deux valises de test MODISTOP n'ont pas révélé de dysfonctionnement.

<sup>2</sup> La liste des investigations menées sur l'avion figure en annexe 2.

<sup>3</sup> Le principe de fonctionnement du circuit de freinage de l'Alphajet est décrit en annexe 3.

Les mesures de continuité et d'isolement électrique des câblages ont été effectuées. Aucun défaut de continuité n'a été constaté. Seule une faible valeur de l'isolement entre le faisceau droit (25G2) et la prise 38Ga (boîtier MODISTOP) a été relevée (100 k $\Omega$  après humidification, 11 G $\Omega$  après un délai de trois heures). Il a été constaté que la prise 38 Ga ne dispose pas de protection contre les projections d'eau alors que toutes les autres prises sont protégées par un manchon thermo rétractable.

**L'hypothèse selon laquelle l'humidité résiduelle confinée dans la prise 38Ga a affecté l'isolement électrique du connecteur est possible.**

Par conséquent, le dysfonctionnement du système de freinage, rapporté par l'équipage, n'a pu être mis en évidence ni par les opérations de maintenance explicitées par des cartes de travail, ni par une recherche plus approfondie.

L'expérience acquise dans le domaine de la maintenance de l'Alphajet montre que le traitement d'inefficacité des freins à l'atterrissage ou au roulage s'est soldé à plusieurs reprises par l'absence de constat de dysfonctionnement lors de la recherche de panne. Toutefois, à l'occasion de l'une de ces recherches, une utilisation des freins au roulage a permis de reproduire la panne et d'incriminer le MODISTOP, en interrompant son fonctionnement lors de l'essai. Mais ce phénomène n'a pu être à nouveau généré lors des investigations.

#### 2.1.2. Examens techniques

Seul l'examen technique du boîtier MODISTOP a révélé une anomalie présentant un lien avec l'événement : l'amplificateur opérationnel de cet équipement s'est avéré défaillant lors des investigations menées chez l'industriel. Ces dernières n'ont cependant pas permis d'expliquer totalement le dysfonctionnement du dispositif de freinage rapporté par l'équipage. Cependant, la défaillance du composant incriminé a déjà été constatée lors de pannes similaires.

**L'hypothèse selon laquelle la défaillance de l'amplificateur opérationnel du boîtier MODISTOP est à l'origine de la panne de freinage rapportée par l'équipage est probable.**

Il est à souligner que cette défaillance ne peut pas être diagnostiquée lors des recherches de pannes faisant suite à des dysfonctionnements du dispositif de freinage : les procédures et les moyens de contrôle mis en œuvre ne le permettent pas.

## 2.2. Séquence de l'événement

### 2.2.1. Origine des traces relevées sur la piste

Les traces 1 et 3 relevées sur la piste sont constituées de gomme de pneu. Elles résultent du blocage de la roue principale gauche de l'avion. Les investigations menées sur l'avion montrent que ce blocage est lié à l'utilisation du frein secours.

Le freinage par action sur la palette de frein secours commande un freinage symétrique en pression mais pas dans ses effets. Ces derniers dépendent de l'efficacité des blocs de freins, notamment de l'usure des plaquettes de frein.

Le freinage secours est réalisé sans assistance. Par conséquent, il incombe au pilote de maîtriser le freinage par relâchement de la palette de frein secours pour éviter un blocage de roue et un éclatement de pneumatique. L'utilisation du frein secours est préconisée pour réduire des vitesses inférieures à 70 kt, au-delà de cette vitesse, il est difficile à réaliser.

### 2.2.2. Chronologie de la sortie de piste

- L'élève aux commandes réalise le toucher des roues principales à 110 kt.
- Il réalise un freinage aérodynamique court et pose la roue auxiliaire vers 100 kt.
- Il sollicite les freins qui s'avèrent par deux fois inefficaces.
- Il actionne le frein secours sans en informer le moniteur.
- Le moniteur reprend les commandes.
- L'élève maintient sa sollicitation du frein secours.
- Le moniteur actionne à son tour le frein secours et aperçoit alors que le voyant FREIN<sup>4</sup> est déjà allumé. La vitesse de l'avion à cet instant est estimée à 85 kt.
- L'avion se déporte à gauche, sort de la piste et s'immobilise à trois mètres de celle-ci.

<sup>4</sup> Le voyant frein indique la mise en pression du circuit de freinage secours. Il est placé sur les planches de bord avant et arrière.

## 2.3. Recherche des causes de la sortie de piste relevant du domaine des facteurs humains

### 2.3.1. Identification des erreurs et des écarts

#### 2.3.1.1. Erreur fondée sur les habiletés

Le freinage aérodynamique effectué au poser des roues principales apparaît insuffisant à l'élève. Ce dernier veut éviter tout risque de redécollage et annoncer au plus vite à son leader le contrôle de sa vitesse (vitesse de roulage rejointe). Or la vitesse indiquée au poser des roues du train principal nécessite un dosage fin du maintien d'assiette pour garantir un effet maximal de freinage aérodynamique, assiette que l'élève ne parvient pas à conserver.

Il pose alors rapidement l'atterrisseur auxiliaire, vers 100 kt. Il teste aussitôt l'efficacité des freins dans le but de les utiliser immédiatement pour prendre du retrait par rapport au leader.

Un freinage aérodynamique plus long, tel qu'il est préconisé (maintien d'une assiette à 10° jusqu'à 90 kt) lui aurait plus sûrement permis de prendre du retrait avec son leader avant de tester le système de freinage mécanique à une vitesse inférieure. Un freinage aérodynamique adapté permet également de réduire la distance de freinage et les risques liés à une panne de frein.

**L'hypothèse selon laquelle l'insuffisance du freinage aérodynamique a contribué à la sensation de rapprochement entre les deux avions et accru la difficulté de dosage du freinage en secours, est probable.**

#### 2.3.1.2. Erreur de décision

La longueur de piste restante, voisine de 1 500 mètres, n'était pas critique. La priorité n'était pas au freinage mais au maintien de l'axe sur la demi-bande gauche de la piste puis au dépassement du leader<sup>5</sup>, comme cela est décrit par le *Flying basics manual*, chapitre II, § 365 et 366, page 33.

La procédure prévoit cette solution. Dans ce cas, il est préconisé :

- d'annoncer le dépassement ;
- de dépasser sans freiner ;
- de reprendre le freinage le dépassement effectué.

**Le dépassement de l'avion du leader lors de l'atterrissage n'a pas été envisagé.**

<sup>5</sup> Des essais réalisés au simulateur ont montré que sans action mécanique de freinage, il était possible d'arrêter l'avion avant l'extrémité de la piste.

### 2.3.1.3. Appel à une routine inadaptée à la situation d'urgence

Lors de l'atterrissage, l'élève pilote :

- effectue un bref freinage aérodynamique pour poser l'atterrisseur auxiliaire vers 100 kt ;
- débute aussitôt un freinage mécanique afin de prendre du retrait avec son leader ;
- effectue alors un premier test de frein dosé, avec peu d'application d'effort sur les pédales du palonnier. Ce premier test apparaît inefficace ;
- recommence alors le test de façon plus prononcée. Ce deuxième test est lui aussi sans effet ;
- actionne la poignée de freinage secours.

Or la procédure prévoit :

- de garder le nez haut pour assurer un freinage dynamique, de poser la roue auxiliaire à  $V_i < 90$  kt, puis de freiner ;
- en cas de freinage défectueux de :
  - relâcher la pression sur les freins ;
  - couper le MODISTOP ;
  - utiliser le freinage normal, sans pomper ;
  - utiliser le frein secours avec précaution.

**L'action de freinage secours en l'absence de coupure du MODISTOP est inadaptée à la situation d'urgence.**

**L'absence de coupure du MODISTOP a eu pour conséquence le maintien du dysfonctionnement de cet équipement et a interdit le freinage normal sans dispositif antidérapant.**

Le frein secours a été actionné simultanément par l'élève et le moniteur.

**La sollicitation simultanée du frein de secours par l'élève et le moniteur a compromis le dosage du freinage et, par conséquent, a vraisemblablement contribué au blocage de la roue.**

Les tâches de jugement et d'analyse de l'opérateur humain dépendent de :

- l'accessibilité : plus l'information nécessaire à l'analyse vient facilement à l'esprit plus elle est considérée comme bonne (adaptée à la situation perçue) ;
- la représentativité : lorsqu'une information perçue est rapidement reconnue comme déjà rencontrée, elle est alors associée à la situation de référence (la ressemblance engendre la similitude).

En situation d'urgence ressentie ou sous pression temporelle ce mode de fonctionnement naturel est encore plus prégnant. L'appel à la première situation venant à l'esprit pouvant correspondre aux informations perçues est la règle (mode de pensée automatique).

Après l'identification de la panne de frein par l'équipage, une action sur la palette frein secours a été réalisée par l'élève puis simultanément par les deux membres d'équipage sans que l'un et l'autre ne pensent à interrompre le fonctionnement du MODISTOP.

L'élève connaît la procédure et le moniteur est expérimenté, ce qui permet d'écarter l'hypothèse d'une erreur de connaissance de la procédure à appliquer en cas de panne de

frein. Or la première idée venue à l'esprit de l'équipage est l'utilisation du frein secours. Ce type de réaction a déjà été rapporté par des équipages qui ont rencontré une panne de freinage au roulage. L'idée de l'efficacité du freinage secours est ancrée lors de la formation théorique.

Le freinage de secours est fréquemment utilisé en lieu et place du frein de parc. Même si la gestuelle de sollicitation de la commande du frein de parc diffère de celle du frein secours, la mécanisation de l'action sur la palette du frein secours est bien présente. En l'absence d'un autre conditionnement cognitif (mécanisation) adapté à la panne de frein, l'appel à cette routine en situation d'urgence (utilisation de cette palette pour arrêter l'avion) est donc probable.

**L'hypothèse selon laquelle l'équipage en situation d'urgence ressentie a fait appel à une routine inadaptée (utilisation du frein secours pour arrêter l'avion) est probable.**

### 2.3.2. Conditions préalables aux erreurs

- Niveau d'engagement de l'élève élevé ou phénomène de persévération

Les théories en psychologie sociale (théorie de l'engagement) postulent que plus le niveau d'engagement des individus dans la poursuite d'un objectif est élevé, plus il leur est difficile de renoncer à cet objectif, même si celui-ci est devenu dangereux pour la sécurité des vols.

Les travaux en ergonomie montrent que ce type de comportement se manifeste par une incapacité décisionnelle, une incapacité à se remettre en cause et se traduit par une répétition non contrôlée de séquences d'actions.

Au milieu de sa formation, l'élève a atteint un bon niveau. Il présente de bonnes dispositions et montre de bonnes réactions. Ce vol est un pré-test. L'élève est motivé et veut montrer ses capacités de pilotage et son autonomie. Son niveau d'engagement est donc très élevé. Lorsque la panne survient en fin d'une mission dense et réussie jusque-là, ses objectifs à l'atterrissage sont de garder parfaitement sa place de numéro 2, d'annoncer au plus tôt le contrôle de sa vitesse de roulage et démontrer ainsi son habileté. Ces objectifs l'incitent à poser rapidement la roue de l'atterrisseur auxiliaire d'une part et occultent dans son esprit toute possibilité de dépassement du leader d'autre part (le principe du maintien d'un espacement arrière par rapport au leader est fortement ancré dans la pratique des vols en formation et particulièrement en école).

Après l'apparition de la panne, le recours au freinage secours pour créer de l'espacement est donc conforme au schéma cognitif initialement ancré, même s'il n'est plus adapté à la situation. De même, le maintien de l'action de l'élève sur la palette de frein secours après l'annonce « J'ai les commandes » du moniteur jusqu'à la perception visuelle de l'action du moniteur traduit probablement cette volonté de gérer l'incident de manière autonome.

**L'hypothèse selon laquelle l'élève a été confronté à un phénomène de persévération qui l'a entrete nu dans la poursuite du maintien de sa place dans la formation est probable.**

- Absence d'activation de la procédure en mémoire de travail

Les briefings et l'activation en mémoire de travail des activateurs cognitifs permettent une bonne mise en jeu des connaissances pour une situation vécue. Cette activation est d'autant plus importante lors des situations d'urgence ou lorsque l'équipage est placé sous pression temporelle.

Lors de l'événement, cette activation en mémoire de travail de la procédure à appliquer en cas de panne de freins n'a pas été réalisée pour la situation « atterrissage ». Cette panne n'est évoquée au cours du briefing que pour le test des freins et l'interruption de décollage en patrouille serrée.

L'élève possède l'expérience de seulement sept atterrissages en patrouille serrée sur Alphajet. Il n'a jamais été confronté à cette panne, ni effectué de dépassement lors d'un atterrissage en patrouille serrée sur cet avion. Il n'a donc pas d'information liée à cette situation lui venant aisément à l'esprit et il n'a pas de situation de référence.

**L'hypothèse selon laquelle l'absence de mécanisation des mesures à appliquer en cas de panne de freins à l'atterrissage n'a pas permis l'activation en mémoire de travail de la procédure est probable.**

### 2.3.3. Condition de non récupération des erreurs

- Une situation de stress ou d'urgence ressentie

La distance perçue qui sépare les deux avions engendre une pression temporelle : il faut rapidement ralentir.

Cette situation génère un stress peu propice à la recherche de solutions non immédiatement disponibles (activées en mémoire de travail), notamment chez l'élève qui par nature est peu expérimenté dans le domaine du vol.

La situation de stress participe à une focalisation sur l'action portant à créer de l'espace avec le leader et d'arrêter l'avion. Ainsi, il utilise le moyen qui vient le plus aisément à l'esprit : l'action sur la palette de frein secours. Cette urgence ressentie a pu contribuer au maintien de l'action de l'élève sur la palette malgré l'annonce du moniteur « J'ai les commandes ».

**L'hypothèse selon laquelle une situation de stress a contribué à l'action simultanée de la palette de frein secours malgré l'annonce du moniteur est possible.**

### 3. CONCLUSION

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

- L'événement a lieu au terme d'un vol d'instruction, élève aux commandes, lors de l'atterrissage en patrouille serrée.
- L'avion n° 2 se pose sur la partie gauche de la piste, effectue un bref freinage aérodynamique et pose la roulette de nez vers 100 kt.
- L'élève débute aussitôt un freinage mécanique, constate l'inefficacité des freins et actionne le frein secours sans en informer le moniteur.
- Le moniteur reprend les commandes, actionne alors sa poignée frein secours tout en constatant qu'elle n'est plus dans sa position initiale et que le voyant frein est déjà allumé.
- L'élève continue son action de freinage en secours.
- La piste est sèche.
- Les premières investigations sur l'avion n'ont pas permis de détecter de dysfonctionnement du dispositif de freinage.
- La défaillance du boîtier MODISTOP a été constatée lors d'un examen technique ultérieur.
- Le fonctionnement du MODISTOP n'a pas été interrompu par l'équipage pendant le freinage de secours.

#### 3.2. Causes de l'événement

Cet événement résulte du dysfonctionnement du dispositif de freinage et d'erreurs de l'équipage.

La défaillance du boîtier MODISTOP est vraisemblablement à l'origine de la panne de frein constatée par l'équipage.

L'élève a probablement été confronté à un phénomène de persévération qui l'a entrete nu dans le maintien de l'objectif de tenue de place dans la formation et en conséquence à agir pour ne pas dépasser l'avion de son leader lors du roulage.

L'insuffisance de l'efficacité du freinage aérodynamique constitue une erreur de l'élève fondée sur les habiletés.

Ce dernier fait appelle à une routine inadaptée en n'interrompant pas le fonctionnement du MODISTOP avant d'actionner le frein de secours.

La sollicitation simultanée du frein de secours par l'élève et le moniteur a compromis le dosage du freinage et a vraisemblablement contribué au blocage de la roue.

L'absence de mécanisation des mesures à appliquer en cas de panne de freins n'a probablement pas permis l'activation de la procédure en mémoire de travail.

## 4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

### 4.1. Dysfonctionnement du dispositif de freinage de l'appareil

Il est probable que la défaillance de l'amplificateur opérationnel du boîtier MODISTOP soit à l'origine de la panne de freinage rapportée par l'équipage. Il est possible que la défaillance constatée soit aussi à l'origine d'événements antérieurs similaires. Il s'avère que ce dysfonctionnement ne peut pas être diagnostiqué lors des recherches de pannes faisant suite à des problèmes de freinage, les procédures et les moyens de contrôle mis en œuvre ne le permettant pas. Par ailleurs, les investigations ont mis à jour un défaut de protection contre l'humidité de la prise 38Ga.

Aussi, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

- à la direction générale de l'armement, en liaison avec l'industriel, d'entreprendre les actions visant à augmenter la fiabilité du boîtier MODISTOP ;
- à la SIMMAD, en liaison avec l'industriel, de compléter le protocole de maintenance du dispositif de freinage de l'Alphajet par la définition d'un processus de contrôle permettant d'améliorer le diagnostic de dysfonctionnement du boîtier MODISTOP.

### 4.2. Application des procédures aux situations d'urgence

Afin de compléter l'ancrage des procédures et fiabiliser leur application en situation d'urgence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

**à l'armée de l'air :**

- l'entraînement sur simulateur Alphajet à la panne de freins lors de l'atterrissage ;
- à l'école de chasse, le rappel lors du briefing de la procédure « panne de freins à l'atterrissage » en patrouille serrée.

## ANNEXES

ANNEXE 1	Liste des équipements objets d'investigations techniques .....	27
ANNEXE 2	Investigations menées sur l'Alphajet n° E45 .....	28
ANNEXE 3	Principe de fonctionnement du dispositif de freinage de l'Alphajet.....	31

## ANNEXE 1

## Liste des équipements objets d'investigations techniques

<b><u>LISTE DES EQUIPEMENTS OBJETS D' INVESTIGATIONS TECHNIQUES</u></b>		
<b><u>( références et numéros de série)</u></b>		
<b><u>- Pour Alphajet E110 :</u></b>		
Boitier Modistop	: 6110-14-0426217 - N° série	: M276
Géné tacy	: 6680-14-3470241 - N° série	: M867
Electro distributeur	: 1650-14-0424023 - N° série	: M449
<b><u>- Pour Alphajet E45 :</u></b>		
Boitier Modistop	: 6110-14-0426217 - N° série	: M154
Géné tacy	: 6680-14-3470241 AY- N° série	: H0236
Géné tacy	: 6680-14-3470241 - N° série	: M1075
Clapet anti-retour C1	: 4820-14-2865390 - N° série	: M249
Bypass	: 1650-14-3379467 - N° série	: M362
Bypass	: 1650-14-3379467 - N° série	: M363
Clapet antiretour	: 4820-14-2865390 - N° série	: M2491
Electro distributeur	: 1650-14-0424023 - N° série	: M201
Electro distributeur	: 1650-14-0424023 - N° série	: M202
Plaque de base	: 1650-14-3379452 - N° série	: M228
Plaque de base	: 1650-14-3379452 - N° série	: M229
Bloc de frein	: 1630-14-5320082 - N° série	: W1151
Bloc de frein	: 1630-14-5320082 - N° série	: W1562
Relais détenteur	: 1650-14-3432372 - N° série	: W426
Transmetteur de freinage	: 1650-14-3425424 - N° série	: W2292, W2231, W2469, W2468
Commutateur	: 5930-14-3462205 130FL01B2Y1 (141G1, 142G2)	

BEAD-air - Base aérienne 217 - 91228 Brétigny-sur-Orge codex

## ANNEXE 2

### Investigations menées sur l'Alphajet n° E45

Les investigations énumérées ci-après ont été menées en ne modifiant pas les états de fonctionnement (sans mouvement des commutateurs, ni déconnexion des prises électriques et action sur les interrupteurs).

Elles comprennent :

- une inspection visuelle ;
- les premières investigations ;
- le contrôle du fonctionnement hydromécanique ;
- le contrôle de fonctionnement du MODISTOP.

#### 1. Inspection visuelle

- inspection générale de l'avion ;
- inspection des jambes d'atterrisseurs gauche et droite ;
- inspection des faisceaux électriques sur les atterrisseurs gauche et droit ;
- inspection des commutateurs d'amortisseurs gauche et droit ;

L'ensemble de ces inspections ne révèle rien de remarquable ou de particulier.

Inspection de la roue gauche endommagée dont le pneu a éclaté : constatation d'usure du pneu suite au blocage de la roue ayant entraîné son éclatement – usure en un seul point du talon de la jante confirmant le blocage constant de la roue – Vérification visuelle du système d'entraînement de la génératrice tachymétrique.

#### 2. Premières investigations physiques

- levage partiel à droite de l'avion ;
- dépose de la roue droite et vérification visuelle ;
- vérification visuelle du système d'entraînement de la génératrice tachymétrique ;
- vérification visuelle du bloc de frein droit (état des rotors, stators et plaque de poussée ainsi que les systèmes de rattrapage d'usure) ;
- levage partiel à gauche de l'avion ;
- dépose de la roue gauche ;
- vérification visuelle du bloc de frein gauche (état des rotors, stators et plaque de poussée ainsi que les systèmes de rattrapage d'usure).

Pas de remarque particulière.

### 3. Contrôle du fonctionnement hydromécanique

Il s'agit de la vérification des pressions de freinage sans utilisation d'énergie électrique sur l'avion.

- Mise en pression du circuit hydraulique CI :
  - vérification des pressions de freinage normal les valeurs doivent être comprise entre 100 et 130 bars ;
  - action sur les pédales de frein poste avant. Pressions relevées : 130 bars à gauche et 130 bars à droite ;
  - action sur les pédales de frein poste arrière. Pressions relevées : 122 bars à gauche et 120 bars à droite.
- Mise en pression du circuit hydraulique CII et vérification des pressions de freinage secours dont les valeurs doivent être comprise entre 100 et 130 bars :
  - action progressive sur la poignée de frein secours poste avant.  
Pressions relevées : 0 à 110 bars à gauche et 0 à 110 bars à droite ;
  - action rapide sur la poignée de frein secours poste avant.  
Pressions relevées : 150 bars à gauche et 152 bars à droite ;
  - action progressive sur la poignée de frein secours poste arrière.  
Pressions relevées : 0 à 110 bars à gauche et 0 à 110 bars à droite ;
  - action rapide sur la poignée de frein secours poste arrière.  
Pressions relevées : 149 bars à gauche et 150 bars à droite.
- Mise en pression des 2 circuits hydrauliques CI et CII :
  - vérification de la prise de priorité du circuit de freinage secours sur le circuit normal :
    - action sur les pédales de frein poste avant. Pressions relevées : 130 bars à gauche et 120 à droite en normal et 0 bar à gauche comme à droite en secours ;
    - action sur la commande de frein secours tout en maintenant l'action sur les pédales.  
Pressions relevées : nulles à gauche et à droite en normal et 124 bars à gauche puis 125 bars à droite en secours ;
  - vérification de la priorité du circuit de freinage secours sur le circuit de freinage normal :
    - Action sur la commande de frein secours puis sur les pédales. Pressions relevées : 140 bars à gauche et à droite en secours et 0 bar en normal.

#### **4. Contrôle du fonctionnement du MODISTOP**

Application de la carte de travail 13-22-603 essais de l'installation MODISTOP :

- tâches 04-05 - sélecteur de la mallette sur les positions 3G et 3D ;
- tâches 08-09 - vérification du serrage des freins ;
- tâches 10-11 - commutateur sur position test ;
- tâches 56-57 - modification 147E appliquée ;
- vérification de l'alternance du serrage et du relâchement des freins droit et gauche ;
- tâches 18-19 - sélecteur de la mallette sur les positions 4G et 4D ;
- tâches 24-25 - vérification du serrage des freins doivent être serrés ;
- tâches 30-31 - sélecteur de la mallette sur les positions 5G et 5D ;
- tâches 58-59 - modification 147E appliquée ;
- vérifier du relâchement des freins droit et gauche ;
- tâches 38-39 - commutateur sur position « M » ;
- tâches 40-41 – vérification du serrage des freins.

La priorité du circuit secours sur le circuit normal est conforme. Il n'a pas été relevé de dissymétrie de fonctionnement entre les deux circuits.

**Ces différentes vérifications n'ont pas permis de mettre en évidence un dysfonctionnement du système de freinage ou de sa régulation.**

- La purge des freins n'a pas révélé de présence d'air.
- Il n'a pas été constaté de pollution du liquide hydraulique contenu dans les circuits 1 et 2 (classe 4 pour le circuit 1 (très bon) et classe 3 pour le circuit 2 (très bon)).

**L'application de la procédure de dépannage et plusieurs contrôles successifs du boîtier MODISTOP n'ont pas permis de constater de dysfonctionnement.**

### ANNEXE 3

#### Principe de fonctionnement du dispositif de freinage de l'Alphajet

L'avion est équipé de deux circuits de freinage indépendants.

- Un circuit normal alimenté par la génération hydraulique circuit 1 ou par un accumulateur en cas de défaillance de cette génération.  
Commandé par les pédales des palonniers avant et arrière, le freinage est différentiel et progressif. Il est normalement contrôlé par un système antidérapant MODISTOP.
- Un circuit secours et parc alimenté par la génération hydraulique circuit 2 ou par un accumulateur en cas de défaillance de cette génération. Commandé manuellement par une poignée dans chaque poste et utilisé pour le freinage automatique des roues lors du relevage des atterrisseurs.  
Le freinage est progressif sur les deux roues, il n'est pas contrôlé en dérapage.  
Le freinage en position parc s'obtient du poste avant par verrouillage après action sur la poignée.  
Chacun de ces deux circuits agit sur les pistons normal ou secours des blocs freins montés sur les atterrisseurs principaux.

Le contrôle et la signalisation du dispositif de freinage portent sur :

- la mise en service du système antidérapant par un interrupteur MODISTOP aux deux postes ;
- la pression hydraulique disponible en normal et en secours lue sur les indicateurs ;
- la mise en pression du circuit de freinage secours, indiqué par l'allumage d'un voyant ;
- la pression de gonflage de l'accumulateur du circuit de freinage normal lue sur un manomètre extérieur.