



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT D'ENQUÊTE DE SÉCURITÉ



BEAD-air-A-2013-012-I

Date de l'événement 19 septembre 2013

Lieu Grenoble Le-Versoud

Type d'appareil Extra 330 LC

Immatriculation F-TGCH

Organisme Armée de l'air

Unité Equipe de voltige de l'armée de l'air

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 retenues. Enfin, des recommandations de sécurité sont proposées dans le dernier chapitre. Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heures légales.

UTILISATION DU RAPPORT

L'objectif du rapport d'enquête de sécurité 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, 15: BEAD-air ;
- pages 16, 17 : Direction générale de l'armement-Techniques aéronautiques (DGA-TA) ;
- page 23 : Equipe de voltige de l'armée de l'air (EVAA).

Illustrations :

- pages 7, 18 : BEAD-air ;
- page 13 : DIRCAM ;
- page 24 : RESEDA.

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	9
1.3. Dommages à l'aéronef	9
1.4. Autres dommages	9
1.5. Renseignements sur le personnel	9
1.6. Renseignements sur l'aéronef	10
1.7. Conditions météorologiques	12
1.8. Aides à la navigation	12
1.9. Télécommunications	12
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	12
1.11. Enregistreurs de bord	13
1.12. Renseignements sur l'épave et sur l'impact	14
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	17
1.14. Incendie	18
1.15. Questions relatives à la survie des occupants	18
1.16. Essais et recherches	18
1.17. Renseignements sur les organismes	18
1.18. Renseignements supplémentaires	19
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	19
2. Analyse	20
2.1. Analyse des résultats d'expertises	20
2.2. Reconstitution du scénario probable de l'incident	21
2.3. Recherche de causes de la rupture du train	21
3. Conclusion	28
3.1. Eléments établis utiles à la compréhension de l'événement	28
3.2. Causes de l'événement	29
4. Recommandations de sécurité	30
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	30
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	30
ANNEXE	31
ANNEXE 1 PROGRESSION D'UN PILOTE DE VOLTIGE	32

GLOSSAIRE

BEAD-air :	Bureau enquêtes accidents défense air
CdB :	commandant de bord
CFA :	commandement des forces aériennes
DGA	Direction générale de l'armement
EPAA :	équipes de présentation de l'armée de l'air
EVAA :	équipe de voltige de l'armée de l'air
VFR:	<i>visual flight rules</i> (règles de vol à vue).

SYNOPSIS

Date de l'événement : jeudi 19 septembre 2013 à 11h09¹
 Lieu de l'événement : aérodrome de Grenoble Le-Versoud
 Organisme : armée de l'air
 Commandement organique : commandement des forces aériennes (CFA)
 Unité : équipe de voltige de l'armée de l'air (EVAA)
 Aéronef : Extra 330 LC
 Nature du vol : liaison
 Nombre de personnes à bord : 2

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Dans le cadre de la coupe ICARE² organisée près de Grenoble les 21 et 22 septembre 2013, l'EVAA est invitée à réaliser une démonstration en vol sur Extra 330.

L'unité décide, une semaine avant l'événement, de mettre en place un de ses avions le 19 septembre sur l'aérodrome de Grenoble Le-Versoud. A l'arrivée sur ce terrain, une première présentation pour l'atterrissage est effectuée. En raison d'un toucher jugé « dur » par l'équipage, une remise des gaz est entreprise. Le pilote en place avant entreprend alors de poser l'avion.

Lors de cette deuxième présentation, lors de l'impact avec le sol, la roue droite se détache. L'avion est arrêté, quelques centaines de mètres plus loin, sur le côté droit de la piste.

Composition du groupe d'enquête de sécurité

- Un directeur d'enquête de sécurité du BEAD-air
- Un enquêteur adjoint du BEAD-air
- Un enquêteur de première information (EPI)
- Un officier pilote ayant une expertise sur Extra 330
- Un sous-officier mécanicien ayant une expertise sur Extra 330

Autres experts consultés

- DGA Essais propulseurs/DAI/département RESEDA
- DGA Techniques aéronautiques
- Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA) – département action et cognition en situation opérationnelle

Déclenchement de l'enquête de sécurité

Le BEAD-air est prévenu de l'incident, vers 11h20 le jour même, par la permanence du Bureau d'enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'Aviation civile.

Un EPI est désigné. Il sera rejoint par le groupe d'enquête le 20 septembre en début d'après-midi.

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

² Événement grand public dédié au vol libre, se tenant annuellement à Saint Hilaire du Touret, la coupe ICARE met en scène toutes les pratiques aériennes.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Indicatif mission : FAF 6030

Type de vol : circulation aérienne mixte (CAM)-VFR

Type de mission : liaison

Dernier point de départ : Salon de Provence (LFMY)

Heure de départ : 09h10

Point d'atterrissage prévu : Grenoble Le-Versoud (LFLG)

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

L'EVAA met en œuvre des Extra 330 en versions monoplace et biplace. La conception du biplace est telle que le pilotage s'effectue normalement de la place arrière. La place avant est occupée par un deuxième pilote ou par un passager. L'appareil choisi pour cette mission est un avion dans sa version biplace.

La mise en place est programmée le 19 septembre 2013 afin de laisser au pilote désigné le temps de reconnaître la zone de voltige et d'effectuer les vols d'entraînement prévus par l'organisation.

Une patrouille de deux appareils est constituée. Elle comprend : un SR22 en position de leader et un Extra 330 LC en équipier.

Le SR22 est chargé d'acheminer du personnel et du matériel afin que l'Extra 330 LC soit en mesure de participer à plusieurs démonstrations de voltige lors de la coupe ICARE devant se dérouler à proximité de l'aéroport de Grenoble Le-Versoud.

La préparation du vol de mise en place s'est articulée autour des éléments inhérents à la réalisation d'un vol VFR réalisé en patrouille : prise en compte de la météo et des NOTAM sur le trajet afin d'établir la route la plus adaptée, étude de la carte voie aérienne civile (VAC) pour connaître les caractéristiques du terrain de destination, briefing sur les procédures de départ, en route et d'arrivée et un briefing sur la sécurité des vols.

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

La patrouille effectue un transit en VFR d'environ une heure entre Salon de Provence et Grenoble Le-Versoud.

L'incident se produit durant la phase d'atterrissage sur la piste principale du terrain de destination. Celle-ci mesure 900 m de long et 30 m de large, sans déclivité significative (moins de 1 mètre entre le début et la fin de piste).

Le pilote en place arrière est aux commandes depuis le décollage de Salon de Provence.

A l'arrivée sur le terrain de Grenoble Le-Versoud, il se présente pour l'atterrissage et après une finale stabilisée, l'avion touche la piste 300 m après le seuil.

L'avion est à gauche de l'axe médian avec une tendance à s'en écarter, ce qui est confirmé par les différents témoins présents sur l'aérodrome. L'avion rebondit et les deux pilotes de l'appareil qualifient cet atterrissage de « *très dur* ».

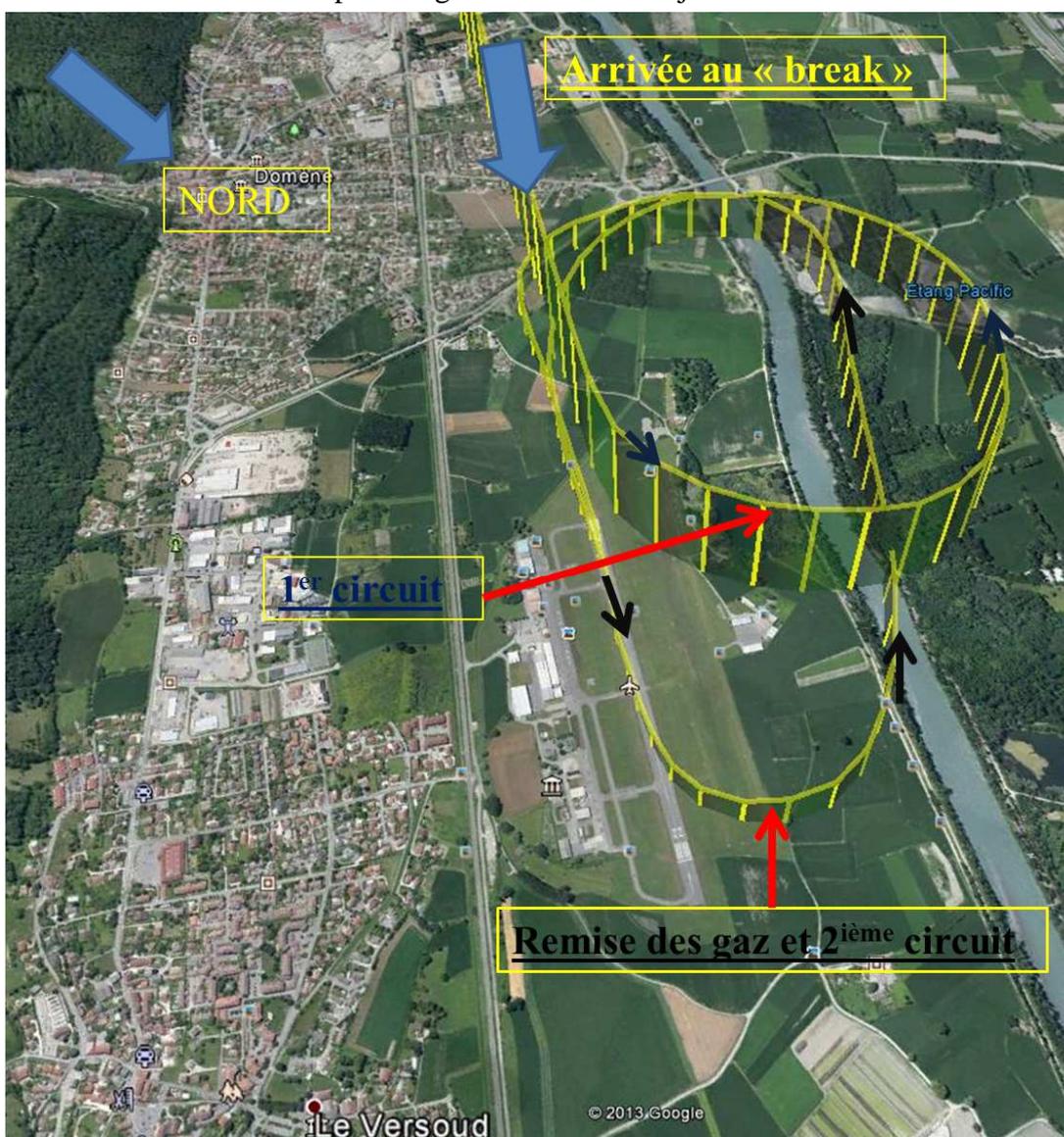
Le pilote commandant de bord (CdB) situé en place avant reprend alors les commandes et remet les gaz.

Il effectue une nouvelle présentation avec un point d'aboutissement au niveau du seuil de piste. Il estime arrondir « *un peu plus haut* » qu'il le fait habituellement, et pose la roulette de queue de l'avion avant le train principal. Au moment du contact du train principal avec le sol, l'équipage « *perçoit un choc* », l'avion ne rebondit pas et la roue droite se désolidarise.

Le pilote CdB, toujours aux commandes, pense être confronté à une crevaison du pneu droit. Il parvient à maintenir l'avion sur la piste et immobilise ce dernier à 180 m du seuil de piste.

L'équipage indemne évacue l'avion.

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



Arrivée à Grenoble Le-Versoud

La patrouille arrive à Grenoble où le vent est calme et la visibilité supérieure à 10 km. L'intégration du circuit d'atterrissage en piste 04³ s'effectue par une arrivée au *break*⁴ à 1 000 pieds sol. Afin de se poser dans l'ordre inverse de celui de la navigation, le SR22 se positionne derrière l'Extra 330 lors de cette manœuvre. Le pilote en place arrière est aux commandes.

L'Extra 330 *break* en premier et réalise un circuit « main gauche⁵ » pour la piste 04. En vent arrière, le pilote stabilise son appareil à 1 000 pieds sol. A l'issue de la branche vent arrière, il débute une descente ininterrompue durant tout le dernier virage vers le seuil de piste 04.

L'équipage estime le plan de finale « *assez plat, légèrement décalé à droite de l'axe de piste* ». La vitesse d'approche est de 150 km/h en diminution, puis se stabilise vers 140 km/h. L'avion passe le seuil de piste à cette vitesse, toujours en diminution. Le pilote débute son arrondi, mais l'avion ne touche pas le sol au point d'impact visé.

Le pilote en place avant, dont la visibilité se trouve réduite durant cette phase, constate alors que l'appareil dévie sur la partie gauche de la piste.

La trajectoire semblant diverger, il reprend les commandes et remet les gaz. Simultanément, l'appareil touche « *durement* » la piste 300 mètres « *long* » sur la partie gauche de la bande à une vitesse de 122 km/h. Lors de ce contact avec le sol, l'Extra 330 LC est en mouvement de translation vers la gauche. L'appareil rebondit.

Le pilote en place avant, situé au plus près du train d'atterrissage, ressent une forte vibration de ce dernier. Il décide de garder les commandes et de procéder pour un autre circuit d'atterrissage.

Il s'établit en vent arrière « main gauche », phase durant laquelle le choc du premier atterrissage l'amène à avoir un doute sur l'atterrisseur et à procéder à un test des freins.

Il se présente en finale 04 avec une approche en crabe. Cette dérive volontairement appliquée au palonnier lui permet de maintenir un « *bon visuel* » de la piste. La visibilité réduite en place avant impose de réaliser cette manœuvre avec une dérive plus importante que de la place arrière.

La vitesse d'approche est d'environ 125 km/h. La manœuvre d'arrondi est initiée au niveau du seuil de piste et s'accompagne d'une annulation simultanée de la dérive au palonnier.

L'appareil touche la piste à une vitesse de 120 km/h. La roulette de queue touche avant le train principal.

L'équipage perçoit un choc, provenant de la droite de l'appareil, qui s'accompagne d'un mouvement d'embarquée du même côté.

Par une action combinée sur les commandes, le pilote en place avant maintient l'appareil sur l'axe de la piste, jusqu'à son immobilisation 180 mètres après le début de bande.

³ Le terrain de Grenoble Le-Versoud possède 1 piste en dure (900 m) et 1 piste en herbe toutes deux orientées (04/22). La piste 04 est orientée au cap magnétique 043°, la 22 au cap magnétique 223°.

⁴ L'arrivée au *break* est une procédure standard d'arrivée pour les avions de chasse. Elle permet à un avion arrivant à grande vitesse de ralentir dans un volume minimal.

⁵ Dans un circuit de piste dit « main gauche », les virages sont tous effectués par la gauche.

1.1.3. Localisation

- Lieu :
 - pays : France
 - département : Isère
 - piste 04 (bitumée) de l'aérodrome de Grenoble Le-Versoud
- 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
			x	

1.4. Autres dommages

Néant.

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1. Commandant de bord (place avant)

- Sexe : masculin
- Unité d'affectation : EVAA 20-300
- Formation :
 - qualification : sous-chef moniteur
 - école de spécialisation : chasse

- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tous types	dont sur Extra	sur tous types	dont sur Extra	sur tous types	dont sur Extra
Total (h)	2 690	253	108	82	30	19

Heures en place avant sur Extra 330 : 10

- Date du dernier vol comme pilote :
 - sur Extra : 18 septembre 2013

1.5.1.2. pilote (place arrière)

- Sexe : masculin
- Unité d'affectation : équipes de présentation de l'armée de l'air (EPAA)
- Formation :
 - qualification : chef de patrouille
 - école de spécialisation : chasse
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tous types	dont sur Extra	sur tous types	dont sur Extra	sur tous types	dont sur Extra
Total (h)	4 800	15	84	4	13	-

- Date du dernier vol comme pilote :
 - sur Extra : 04 juin 2013

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Commandement organique d'appartenance : CFA
- Base aérienne de stationnement : BA 701 Salon de Provence
- Unité d'affectation : EVAA 20-300
- Type d'aéronef : Extra 330
 - configuration : biplace

- caractéristiques :

	Types - séries	Numéros	Heures de vol totales
Cellule	300 L	1282	808
Moteur	AEIO-580-B1A	L159-79E	808

Le dernier entretien a été réalisé du 12 juillet 2013 au 12 août 2013 à 796,8 heures cellule.

A cette occasion, les travaux suivants ont été réalisés : visite 100 heures, échange du train d'atterrissage, application du service bulletin n° 300-1-11 concernant l'amélioration de la fixation des instruments Garmin du poste de pilotage.

1.6.1. Maintenance

La maintenance est dirigée par le chef des services techniques des EPAA qui a sous ses ordres un adjoint en charge de la maintenance des appareils de l'EVAA. En cas de nécessité, ce dernier peut faire appel au personnel de la société Extra Aircraft, détaché sur la Base aérienne de Salon de Provence afin d'apporter son expertise sur Extra 330.

Le personnel de l'EVAA est chargé de la maintenance préventive « en ligne » qui comprend les vidanges moteur et les réparations n'excédant pas deux heures de maintenance.

La maintenance « en base » concerne essentiellement les interventions ne pouvant être effectuées « en ligne », car longues et/ou plus complexes.

Celles-ci nécessitent l'intervention de personnel plus qualifié et sont effectuées par la société Extra Aircraft, avec le concours de son responsable technique présent sur site.

1.6.2. Performances

Dans la configuration du jour, l'avion est limité à 950 kg au décollage comme à l'atterrissage.

La vitesse de décrochage est comprise entre 102 km/h pour une masse de 820 kg et 111 km/h pour une masse de 950 kg.

1.6.3. Masse et centrage

Lors de l'événement, la masse de l'appareil est estimée à 890 kg.

Le centre de gravité est situé à 80,0 cm de la référence (cloison pare-feu), avec des limites comprises entre 67,0 et 84,0 cm.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : 100 LL.
- Quantité de carburant au décollage : 120 litres.
- Quantité de carburant estimé au moment de l'événement : 60 litres.

1.6.5. Pneumatiques

Les roues principales, équipées de freins hydrauliques, sont composées de deux flasques qui encerclent un pneumatique en caoutchouc équipé d'une chambre à air. La roue arrière est pleine, composée de caoutchouc dur.

Les limitations à l'atterrissage sont de 15 kt⁶ de vent de travers et une masse maximale de l'appareil de 950 kg.

1.7. Conditions météorologiques

Les paramètres suivants sont observés à Grenoble Le-Versoud à 11h00 :

- vent : 220°/03 kt ;
- température : 16 C ;
- QNH : 1 014 hPa.

1.8. Aides à la navigation

Sans objet.

1.9. Télécommunications

L'avion était en contact avec le service de contrôle à Grenoble (fréquence tour) lors des deux atterrissages.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

L'aérodrome de Grenoble Le-Versoud est contrôlé et est situé 10 km au Nord-Est de Grenoble au pied de la Chaîne de Belledonne, dans la vallée du Grésivaudan.

Le terrain possède une piste en dur de 900 mètres et une piste en herbe parallèle toutes deux orientées 04/22. La piste préférentielle est la 04.

⁶ *knot*, nœud (1 kt=1,852 km/h)

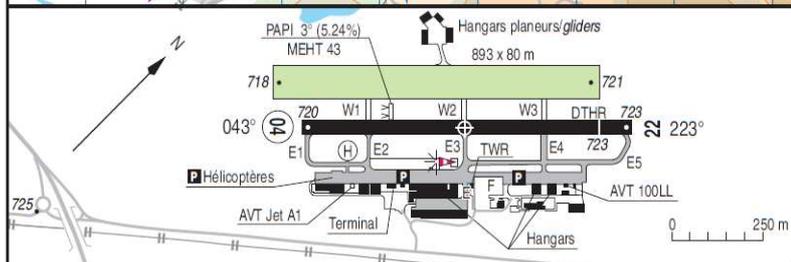
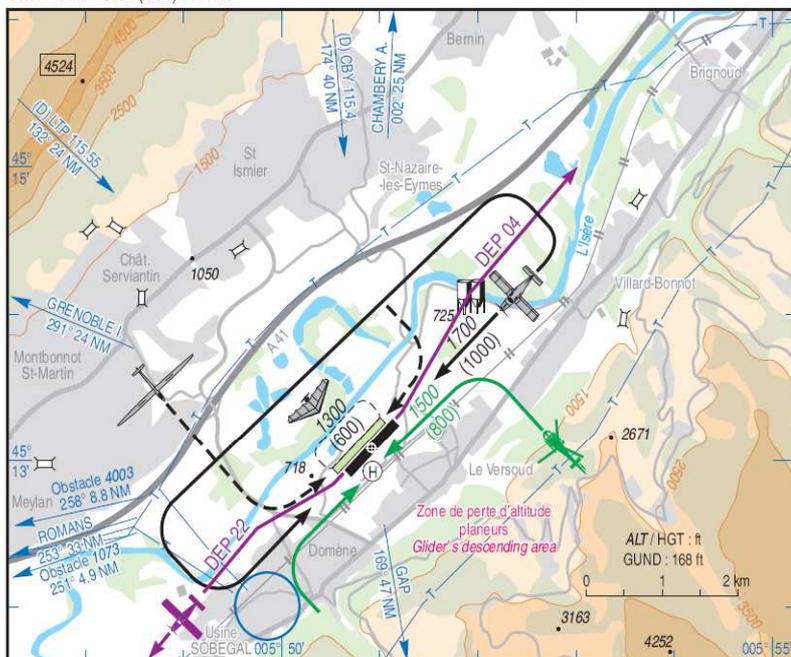
ATTERRISSAGE A VUE
Visual landing

Ouvert à la CAP
Public air traffic
07 MAR 13

GRENOBLE LE VERSOUD
AD2 LFLG ATT 01

	ALT AD : 724 (26 hPa) LAT : 45 13 05 N LONG : 005 50 55 E	LFLG VAR : 1°E (10)
--	--	-------------------------------

ATIS 125.225 ☎ 04 76 77 56 87
APP : NIL
TWR : 121.0 - GND (SOL) : 121.65



RWY	QFU	Dimensions Dimension	Nature Surface	Résistance Strength	TODA	ASDA	LDA
04	043	900 x 30	Revêtue Paved	5 TRSI	900	900	900
22	223				900	900	815

Aides lumineuses : NIL Lighting aids : NIL

SERVICE DE L'INFORMATION AERONAUTIQUE
AMDT 04/13 CHG : ALT circuits, PKG HEL. © SIA

Carte VAC

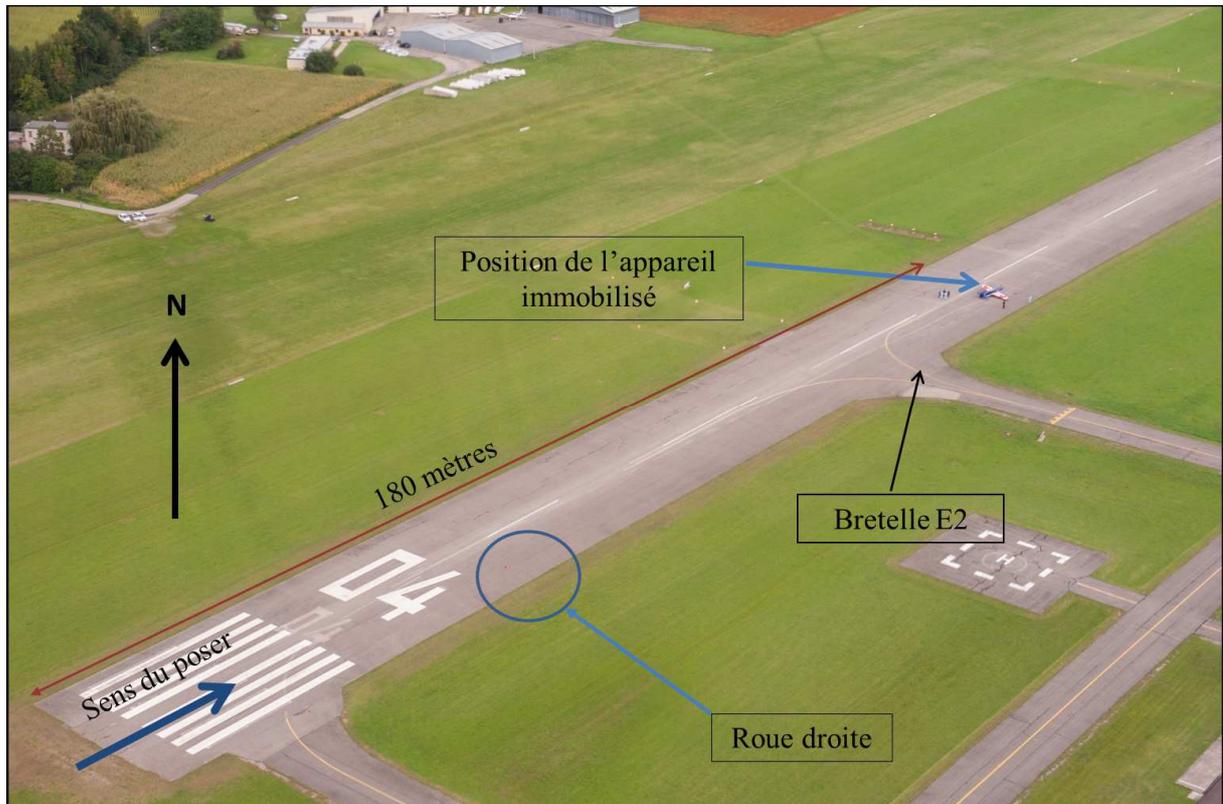
1.11. Enregistreurs de bord

L'Extra 330 LC est équipé d'un enregistreur de paramètres « APIBOX ». Ce boîtier permet d'enregistrer notamment la trace GPS, la vitesse, les paramètres moteur, les accélérations sur les différents axes de l'appareil ainsi que les communications radio.

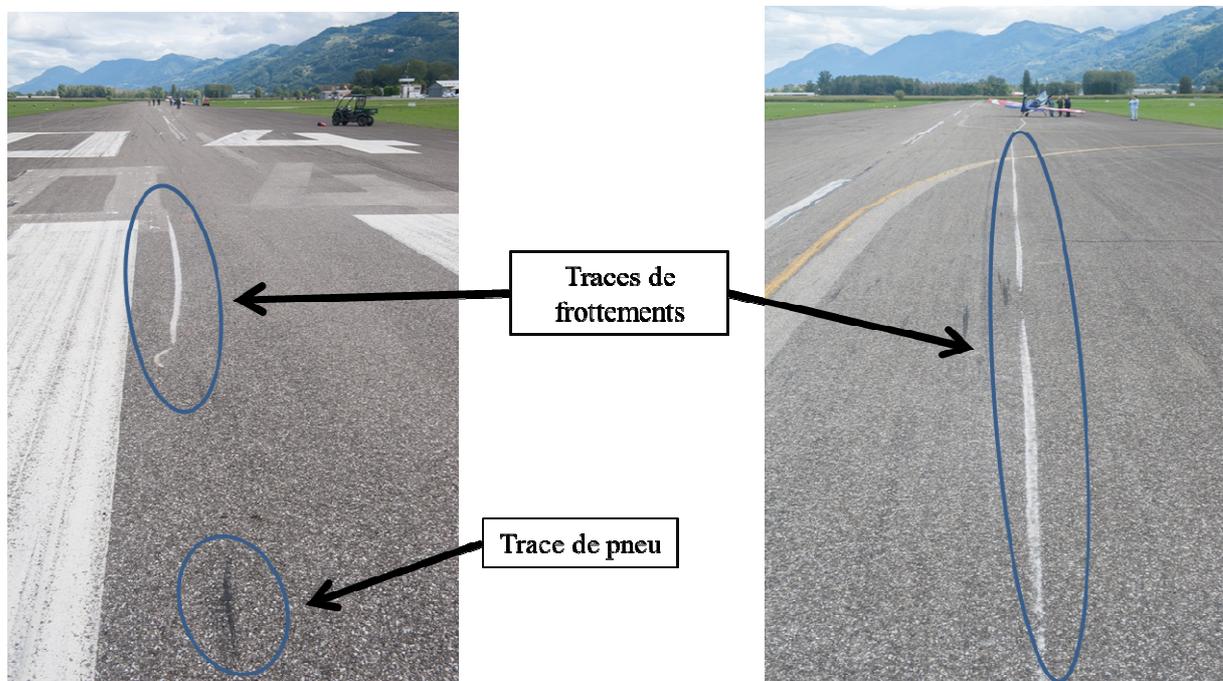
Néanmoins, en raison de la fréquence d'échantillonnage, l'exploitation des communications est rendue très difficile.

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

1.12.1. Constats sur la piste de Grenoble Le-Versoud

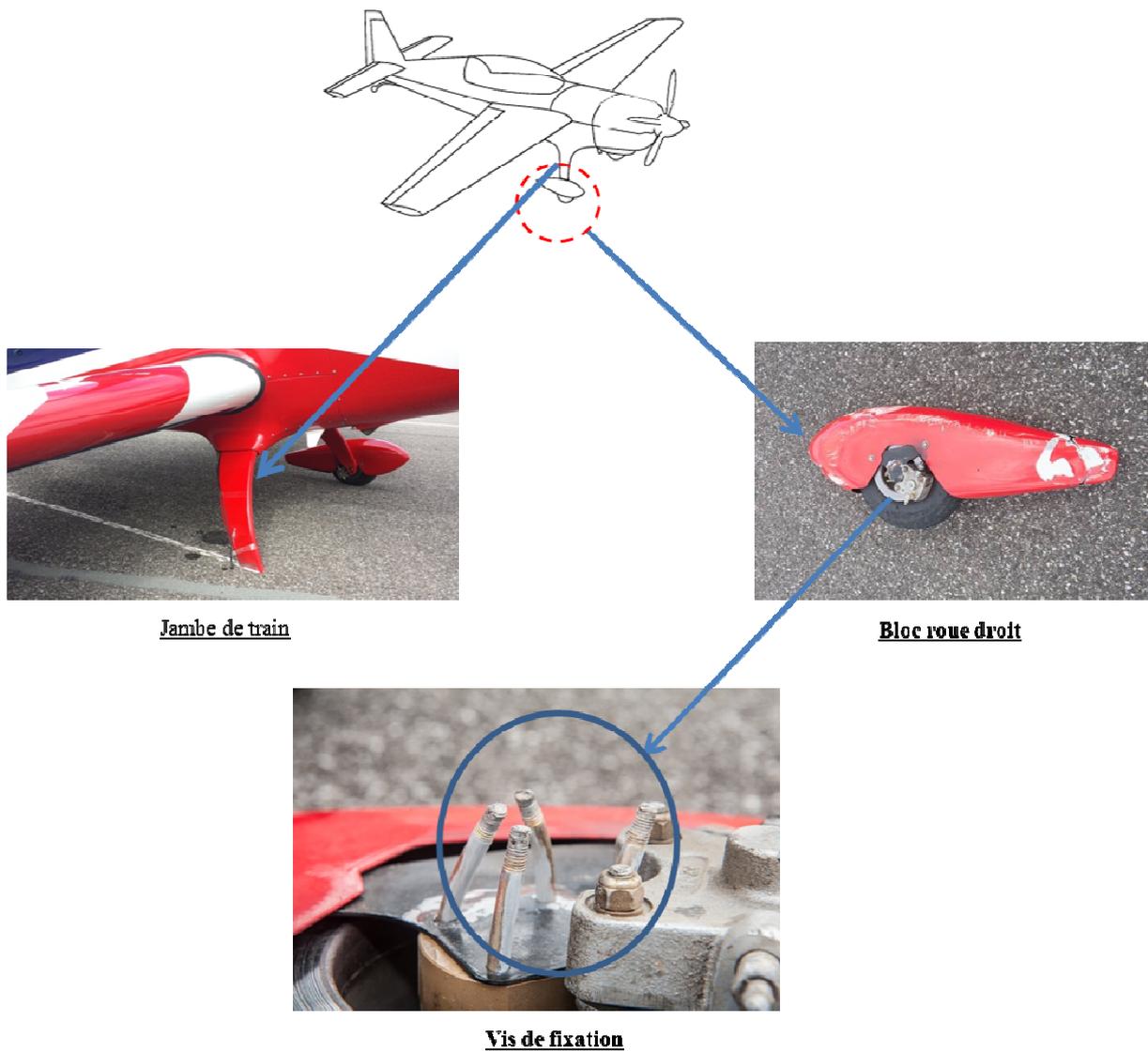


Vue générale de l'incident



Traces relevées sur la piste

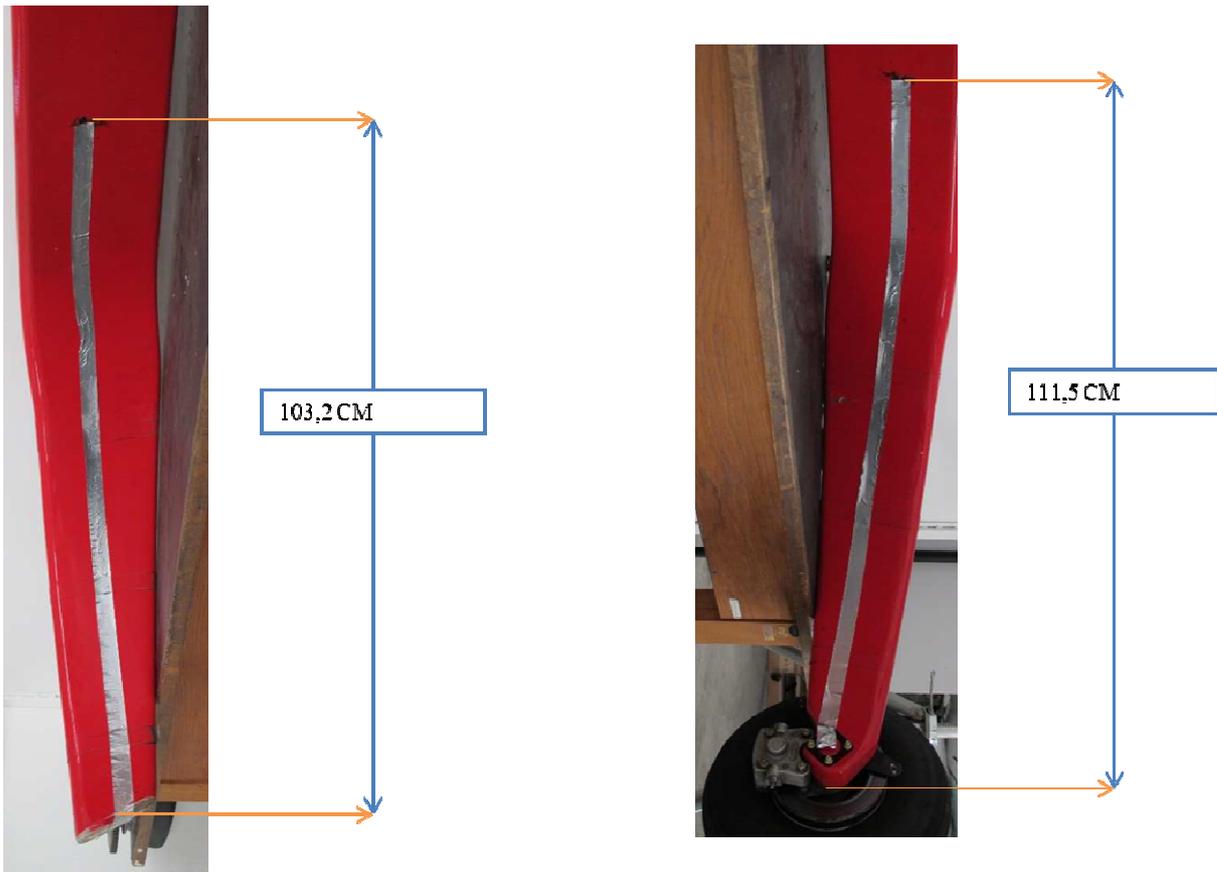
1.12.2. Constat sur l'appareil



Le bloc de roue droit est absent. La partie inférieure de la jambe de l'atterrisseur droit est endommagée. Les quatre vis de fixation du bloc de roue sont déformées.

1.12.2.1. Jambe de train

Lors du deuxième atterrissage, la perte de la roue droite a occasionné une abrasion de 8,3 cm de la structure de la jambe de train.



La longueur des trains est mesurée entre le centre du trou de fixation du train et l'extrémité du train.

Le bloc de roue droit, trouvé en entrée de piste, est désolidarisé de la jambe de train côté droit. Cette dernière s'est abrasée sur environ huit centimètres lors de l'atterrissage final.

1.12.2.2. Bloc de roue

La bande de roulement du pneu présente deux traces d'usure avec des reflets colorés excentrés vers l'extérieur du pneu.



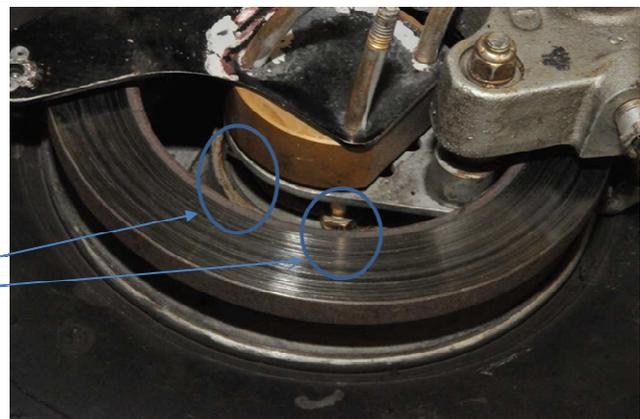
Traces d'usure

1.12.2.3. Vis de fixation du bloc de roue sur la jambe de train

Les quatre vis sont déformées. Trois sont repoussées vers le moyeu.



Vis déformées



Vis repoussées vers le moyeu

Vis de fixation de la roue

Aucun des quatre écrous assurant la fixation de la roue sur l'avion n'a été retrouvé.

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Membres d'équipage de conduite

1.13.1.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical :
 - type : centre d'expertise médicale du personnel navigant (CEMPN)
 - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : aucune

1.13.1.2. Copilote

- Dernier examen médical :
 - type : CEMPAN
 - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : aucune

1.14. Incendie

Sans objet.

1.15. Questions relatives à la survie des occupants

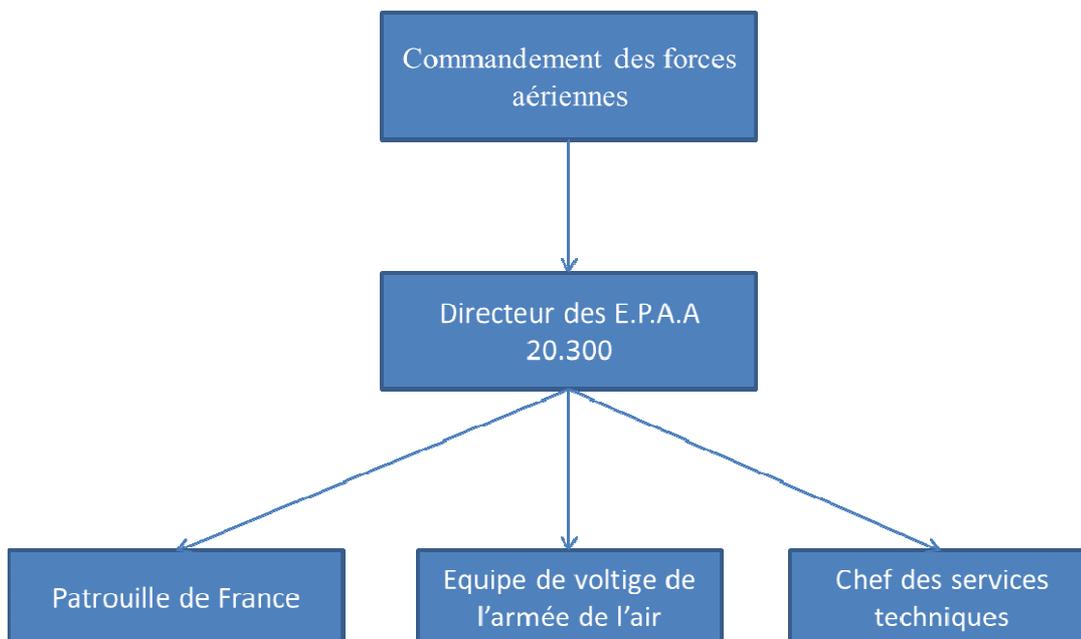
Une fois l'avion immobilisé, l'équipage a appliqué la procédure d'évacuation rapide figurant dans le POH (*pilot's operating handbook*).

1.16. Essais et recherches

Néant.

1.17. Renseignements sur les organismes

L'EVAA représente l'armée de l'air dans les compétitions de voltige nationales et internationales, en particulier lors des championnats du monde. Implantée sur la Base aérienne de Salon de Provence, elle met en œuvre deux Extra 330 SC (monoplace) et un Extra 330 LC (biplace) depuis 2008.



Organigramme des équipes de présentation de l'armée de l'air 20.300

1.18. Renseignements supplémentaires

1.18.1. Spécificités d'un avion de voltige

Pour être compétitif, un avion de voltige doit être puissant, solide et léger.

La conception des différents modèles utilisés lors des compétitions internationales prend en compte ces trois exigences.

L'architecture du train d'atterrissage est, pour ces raisons, généralement composée de deux lames (formule retenue pour les CAP 232), ou d'un ensemble en forme d'arc (utilisé sur les Sukhoi et Extra). Ceux-ci sont principalement réalisés en matériaux composite (CAP/Extra) ou en acier léger comme le titane (Sukhoi).

Sans amortisseur classique, c'est la flexibilité du matériel qui va absorber l'énergie résultant d'un atterrissage. Le matériel est essentiellement conçu pour un travail selon l'axe vertical. Toute sollicitation sur un axe différent (transversal par exemple), peut générer des efforts importants sur la structure du train.

Pour ces raisons, les trains d'atterrissage des avions de voltige sont plus vulnérables aux atterrissages durs (ruptures, délaminage) que les systèmes classiques qui comprennent des amortisseurs.

1.18.2. Progression d'un pilote de voltige

D'un point de vue réglementaire, la pratique de la voltige en France est soumise à l'obtention de qualifications. (Annexe 1 : progression d'un pilote de voltige)

1.19. Techniques spécifiques d'enquête

Sans objet.

2. ANALYSE

L'exploitation des différents témoignages et des données enregistrées ont permis de définir l'événement comme étant la rupture de l'atterrisseur droit lors d'un poser dur.

L'analyse qui suit vise à déterminer les causes de cette rupture. Elle débute par les résultats des différentes expertises, se poursuit par la reconstitution du scénario probable et se termine par l'identification des causes possibles de cet incident.

2.1. Analyse des résultats d'expertises

Des expertises techniques ont été réalisées afin de vérifier la conformité des pièces utilisées et définir un scénario de dégradation.

2.1.1. Examens initiaux

Lors de la prise en compte des pièces pour expertise, une différence notable entre les deux pneumatiques a été relevée. La structure de celui de gauche possède 6 plis et celle de droite 10 plis.

2.1.2. Partie intègre (atterrisseur gauche)

Le pneumatique équipant la roue gauche, de marque Goodyear, est conforme.

Sa bande de roulement présente une usure homogène, les quatre rainures sont bien visibles.

Les examens réalisés sur les roues et les freins ne mettent pas en évidence de défaut de montage. Toutes les éléments sont présents et en place.

Le montage de la roue gauche est conforme à la documentation.

2.1.3. Partie endommagée (atterrisseur droit)

La bande de roulement du pneu droit présente une usure plus importante que celle du pneu gauche.

Le pneu droit porte des traces superficielles et colorées significatives d'un échauffement de la bande de roulement lors du toucher de la roue à l'atterrissage. Deux de ces traces sont visibles sur la moitié extérieure du pneu. Les photos de la piste montrent une trace de pneu étroite qui précède la trace laissée par le frottement de la jambe de train sur la piste (trace blanche). La trace de pneu laissée au sol à l'atterrissage de l'appareil ne correspond pas à une empreinte lors d'un poser à plat de l'avion.

L'examen de la roue endommagée, révèle que les quatre écrous utilisés pour la fixation des axes sur la jambe de train, ont été arrachés.

Lors des démontages, aucune pièce n'est manquante, aucun défaut dans l'ordre des empilements n'a été constaté. Les repères de serrage à la peinture sur les écrous et les têtes de vis sont présents et démontrent qu'il n'y a pas eu de rotation depuis le dernier montage.

La tuyauterie hydraulique sur le frein droit s'est rompue en statique lors de la désolidarisation de la roue.

La perte de la roue droite de l'avion Extra 330 LC est en partie due au montage sur cette roue d'un pneumatique non conforme au type attendu (10 plis au lieu de 6). Cet écart a eu pour conséquence un sous gonflage de ce pneu de l'ordre de 50% de la pression nominale. Ce gonflage est certainement à l'origine de l'usure excessive relevée sur le pneu droit alors que son vieillissement est quasi identique au pneu gauche. De plus, le sous gonflage dégrade la fonction d'amortissement de l'énergie lors de l'atterrissage. Il influence aussi notablement la surface de contact pneu/sol lors de l'atterrissage (cas défavorable lors d'un posé de travers).

Le non-conformité du pneu droit et son gonflage insuffisant ont contribué à la rupture de l'atterrisseur.

2.2. Reconstitution du scénario probable de l'incident

La roue droite a été équipée d'un pneu qui n'est pas habituellement utilisé par l'EVAA. Lors de la visite pré-vol en ajustant la pression des pneus, les mécaniciens ignorent alors qu'ils gonflent ce pneu à cinquante pourcents de la valeur recommandée par le constructeur.

84 atterrissages sont effectués sans que les équipages ne remarquent la particularité de cette configuration.

Lors de la première approche, l'avion légèrement décalé par rapport à l'axe de la piste rebondit « fortement ».

Le sous gonflage limite la capacité d'absorption de l'énergie par le pneu.

L'énergie est alors transmise à l'atterrisseur qui se rompt lors de l'atterrissage suivant.

La roue droite se désolidarise lors du second poser.

Le bloc roue se désolidarise lors de l'atterrissage.

2.3. Recherche de causes de la rupture du train

2.3.1. Cause d'origine environnementale

La météorologie était propice au vol à vue et les témoignages des différents acteurs ne font ressortir aucun phénomène particulier.

L'incident n'est pas lié à une cause environnementale extérieure.

2.3.2. Cause d'origine technique

Les expertises ont montré une non-conformité dont l'origine est à rechercher dans les facteurs humains.

2.3.3. Facteurs humains

2.3.3.1. Défaillances actives

- Montage de pneumatiques de structures différentes :

Nature de l'erreur :

De 2008 à 2010, lors du roulage, de nombreuses crevaisons se produisent sur Extra monoplace.

Pour résoudre cette difficulté, deux solutions ont été étudiées en parallèle :

- Une augmentation de la pression des pneumatiques des avions monoplace, en utilisant la pression recommandée par le constructeur pour les biplaces qui ne sont pas sujet à ce type de problème.
- L'étude d'un modèle de pneumatique plus résistant : le Goodyear 5.00-5 10 PR. Il diffère du pneu d'origine par le nombre de ses couches de tissus.

La solution consistant à modifier la pression ayant permis de résoudre le problème, l'étude sur le changement de pneumatique a été abandonnée.

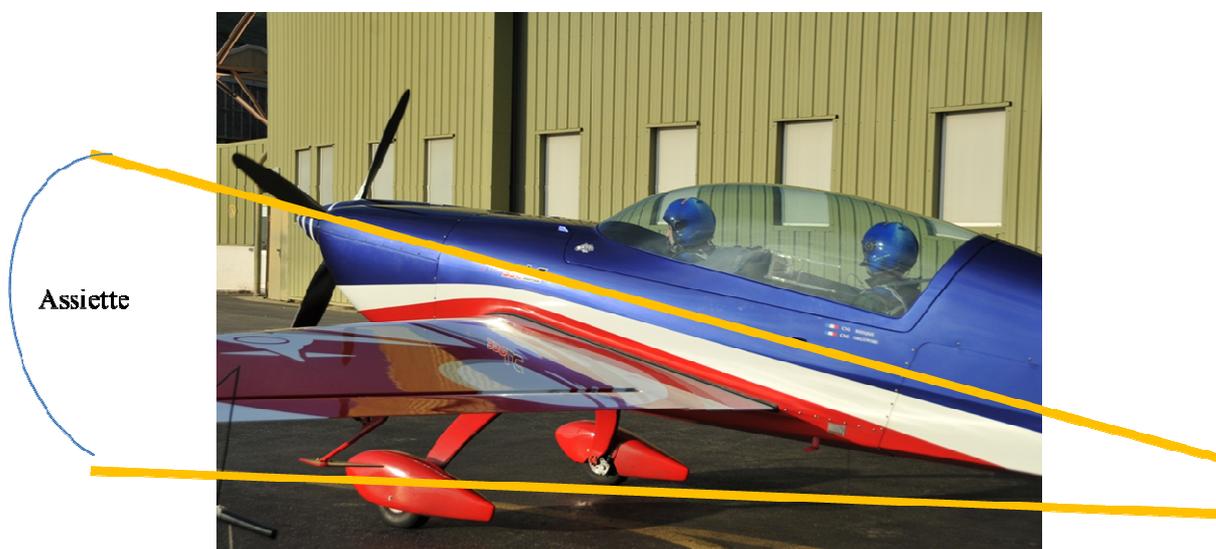
Or, vraisemblablement au cours d'une opération de rangement, un pneumatique Goodyear 5.00-5 10 PR a été conservé par erreur dans le stock des pneumatiques de l'unité.

Suite à une usure normale du pneu, un changement de roue est effectué sur l'Extra n° 1282. Cette opération est réalisée par les mécaniciens de l'EVAA le 09 avril 2013, qui utilisent ce pneu préalablement monté sur une jante d'Extra.

Le pneu Goodyear 5.00-5 10 PR a été avionné par erreur sur l'atterrisseur droit.

- Raté d'exécution du pilote :

Les particularités liées aux phases d'atterrissages sur Extra 330 sont étroitement liées à la configuration de l'appareil.



Assiette de l'avion au sol

La position de pilotage en place arrière réduit la visibilité vers l'avant lorsque l'assiette de l'appareil augmente, ce qui est le cas durant les phases de vol à basse vitesse. De plus, en raison de la configuration « train classique » de l'Extra 330, cette assiette importante doit être maintenue pour le poser de l'appareil.

La restriction du champ visuel vers l'avant, lors de l'atterrissage, est compensée par l'utilisation de repères visuels extérieurs situés en position latérale. Néanmoins, l'évaluation de la hauteur est ainsi sensiblement altérée.

Pour contrer cette difficulté, la technique utilisée consiste à « craber⁷ » l'appareil.

En appliquant volontairement un dérapage à son appareil, le pilote décale le nez vers la gauche ou la droite de sa trajectoire. Il garde ainsi le visuel de la piste dans l'axe de sa trajectoire. Il maintient cette position et l'annule juste avant l'arrondi, ce qui lui permet de mieux évaluer son point d'aboutissement et sa hauteur d'arrondi.

L'importance de cette manœuvre varie en fonction de la largeur de piste.

En effet sur une piste large (de l'ordre de 40 m) la prise de repères est facilitée. Le pilote peut alors arriver normalement (sans « craber » l'appareil). Même si en courte finale la visibilité vers l'avant se trouve réduite, la piste reste parfaitement visible sur les côtés, il peut donc continuer à piloter son point d'aboutissement et juger la hauteur d'arrondi sans difficulté.

Ce n'est pas le cas sur une piste plus étroite (30 m ou moins), où la visibilité est plus restreinte sur les côtés, rend la tâche plus délicate si le pilote effectue une approche sans « craber » son appareil.

Lors d'un atterrissage sur piste étroite, la pratique des équipages est d'arriver en « crabant » l'appareil.

Ecart aux pratiques :

L'analyse des paramètres de vols ne montre aucune action inadaptée aux commandes.

⁷ Le nez de l'avion présente un écart avec la trajectoire réellement suivie au sol, ce qui donne l'impression qu'il avance de travers, d'où l'analogie avec un crabe. Lorsqu'un avion est en approche par vent de travers il vole en crabe jusqu'au passage du seuil de piste, et doit ensuite faire une manœuvre de décrochage afin d'atterrir parallèle à la piste.



Lors du premier atterrissage, on constate que l'avion a touché durement, à gauche de l'axe de piste, et à 300 m du seuil de piste.

Ce résultat n'étant pas souhaité par le pilote aux commandes et aucun élément extérieur n'ayant perturbé son action, le résultat de cette présentation est dû à une mauvaise appréciation du point d'aboutissement et de la hauteur d'arrondi.

L'enregistrement de la position de la gouverne de direction montre que le pilote a réalisé une présentation rectiligne sans application de dérive. Compte tenu de la largeur de la piste, il aurait été préférable de favoriser une approche en « crabe » de manière à visualiser précisément le point d'aboutissement au moment de la finale.

Avec son approche, en très courte finale, le pilote s'est trouvé dans l'incapacité de visualiser correctement son point d'aboutissement et sa hauteur. L'arrondi exécuté de manière tardive a conduit l'avion à toucher durement le sol, ce qui conduira à sa rupture.

Confronté à un atterrissage sur piste étroite, le pilote n'a pas appliqué la pratique mise en œuvre à l'unité. (Atterrissage « crabé »)

2.3.3.2. Conditions de survenue

- Montage de pneumatiques différents :

Le pneu utilisé pour les essais provenait d'un approvisionnement réalisé au profit d'avions Tucano. Ce type d'avion n'étant plus en service dans l'armée de l'air, le pneu utilisé n'a pas été reversé. D'apparence quasi identique à ceux utilisés sur Extra, il a été entreposé par mégarde parmi les rechanges propres à l'avion Extra 300.

L'erreur d'identification du pneumatique n'a pas été perçue lors de son montage sur la jante.

Par un défaut de ségrégation des pièces, un pneu s'est retrouvé par erreur dans le stock destiné aux Extra.

- Contexte organisationnel :

Suite à une réduction des heures allouées à l'équipe de voltige, le pilote n'a pas volé sur l'appareil depuis trois mois et demi. Cette diminution de l'activité de 10%, imposée par mesure d'économie a été décidée à mi-saison. Ceci a conduit à faire des choix (meetings, championnats du monde) et ainsi réduire volontairement l'activité de certains pilotes, dont celle du pilote de l'EPAA.

Au moment de la mission, une partie de l'équipe est aux Etats-Unis pour le championnat du monde. Pour pallier ce manque de personnel et occuper un poste de surveillant des vols dans le cadre de la coupe ICARE, l'EVAA fait alors appel à un pilote de l'EPAA.

Ne pouvant plus dédier de mission au seul profit du pilote (réduction du potentiel), et conscient que ce dernier a une activité irrégulière sur l'appareil, il a été décidé d'optimiser cette mise en place pour réaliser un vol en double commande.

L'activité aérienne réduite et irrégulière a contribué à la survenue de l'événement.

- Premier atterrissage sur piste étroite :

L'analyse des écarts a mis en évidence un défaut de technicité.

Le pilote totalise une quinzaine d'heures sur Extra, ce qui représente une trentaine de vols.

L'ensemble de son expérience sur Extra a été acquise sur la plateforme de Salon de Provence, dont la largeur de la piste est supérieure ou égale à 45 m.

Le jour de l'incident, il réalise donc son premier atterrissage sur piste courte à bord d'un Extra.

Les dimensions restreintes de la piste et les difficultés engendrées telles que la visibilité réduite et le manque de repères sur les côtés, ont fait partie des points abordés durant le briefing de la mission. Toutefois, le pilote a effectué une approche similaire à celle effectuée lors de son apprentissage à Salon.

Il s'est alors retrouvé dans l'incapacité d'évaluer correctement son point d'aboutissement et sa hauteur d'arrondi.

Le pilote, qui effectue son premier atterrissage sur piste étroite, met en application les techniques apprises lors de ses vols réalisés à Salon de Provence.

2.3.3.3. Conditions de non récupération

- Absence de détection du type du pneumatique droit :

Le manuel de maintenance de la société Extra Aircraft ne décrit ni la visite journalière, ni l'opération de démontage des roues. Pour cette dernière opération, il préconise de se reporter à la documentation de la société Cleveland.

La dépose des roues étant une tâche simple, aucune carte de travail ne la décrit.

Dans les faits, le gonflage ainsi que la dépose des roues, sont des opérations réalisées par les mécaniciens de l'EVAA. Une vérification de la pression des pneumatiques est ainsi réalisée à l'occasion de chaque visite journalière. Le carénage de roue présent lors de cette opération empêche de différencier le type de pneumatique employé.

Le contrôle de la pression des pneumatiques a été réalisé lors de la visite pré vol. Cependant, la présence du carénage de roue, empêche la vérification de la conformité des pneumatiques lors de cette vérification.

La roue étant protégée dans un carénage, son inspection complète ne peut être réalisée sans démontage. Ainsi, la visite journalière ne prévoit pas la vérification du type de pneu lors de l'ajustement de la pression.

De plus, lors du dernier entretien effectué en Allemagne (juillet - août 2013), les mécaniciens de la société Extra ont effectué une visite de type « 100 heures » ainsi qu'un échange du train principal. Lors de cette opération, la dépose des carénages de roues, opération systématique, aurait pu permettre de constater une incohérence de montage entre les pneumatiques droit et gauche.

Pourtant, cette anomalie n'a pas été relevée lors de cet entretien. Les spécialistes de la société Extra Aviation remontent finalement les roues déposées lors de l'arrivée de l'appareil.

Opération simple, le changement de roue est peu décrit dans la documentation avion. La non détection de l'erreur, lors d'un entretien chez le constructeur, montre toute la difficulté de détection et de récupération.

- Excès de confiance :

Le pilote CdB (en place avant) a deux ans et demi d'ancienneté dans l'équipe. Il est qualifié dans la catégorie Elite et, de par sa précédente affectation, possède une grande expérience dans le domaine de l'instruction.

Le pilote en place arrière appartient à la direction des EPAA. Il possède une solide expérience aéronautique notamment dans le domaine de la présentation, il est qualifié sur Extra afin d'en

appréhender les contraintes et les spécificités, mais n'a pas vocation à pratiquer la compétition.

Le pilote a satisfait à l'ensemble des exigences pour être autorisé à voler sur Extra. Jusqu'à l'été, ou le rythme s'infléchit, il vole à l'EVAA une à deux fois par mois, ce qui lui a permis d'obtenir son 2nd cycle de voltige après vingt et un vols. Sa progression a été réalisée sans difficulté, ce qui a conforté l'équipe sur ses aptitudes à utiliser l'appareil.

L'équipage a été composé au regard de la simplicité de la mission, parfaitement adaptée pour un vol de reprise en main.

Il y a certainement eu un excès de confiance entre les deux membres d'équipage :

- Le CdB s'appuie sur la grande expérience aéronautique du deuxième pilote et sur les derniers vols qu'il avait réalisés en double commande avec lui. Il a donc abordé le vol dans un esprit de supervision et non d'instruction.
- Le deuxième pilote qui s'est appuyé sur son expérience sur la machine, tout en étant conforté par la présence de la place avant plus expérimenté sur l'appareil.

Le pilote en place avant ne s'est pas rendu compte de l'erreur. Le manque de visibilité à cette place, associée au fait que l'erreur se soit produite lors de l'arrondi sont les deux raisons pour lesquelles le CdB n'est pas intervenu.

Le commandant de bord, en place avant, n'a pas détecté l'erreur de pilotage suffisamment tôt pour la corriger.

3. CONCLUSION

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

Dans le cadre de la coupe ICARE organisée près de Grenoble les 21 et 22 septembre 2013, l'équipe de voltige de l'armée de l'air est invitée à réaliser une démonstration en vol avec un avion de type Extra 330.

Le déplacement des membres de l'équipe est réalisé avec un SR22 et un Extra 330 biplace. Il est fait appel à un pilote de l'EPAA afin d'occuper le poste de directeur des vols lors de la démonstration.

Ce pilote très expérimenté est qualifié sur Extra afin d'en appréhender les contraintes et les spécificités. Il n'a pas vocation à pratiquer la compétition. Son activité sur Extra est réduite depuis environ trois mois et demi.

La préparation de l'avion comprend la vérification de la pression des pneus. L'opérateur ne s'est pas rendu compte que le pneu droit était un pneu inhabituel et sous gonflé par rapport à ses exigences.

Lors du dernier changement de roue réalisé sur l'appareil, le pneu a été prélevé dans le stock de l'unité, ou il avait été entreposé.

Ce pneu de taille identique ne diffère de ceux habituellement utilisé que par le nombre de plis et part une pression optimale d'utilisation différente.

Le jour de l'incident, c'est son premier atterrissage sur piste courte. Les dimensions restreintes de la piste et les difficultés engendrées comme la visibilité réduite et le manque de repères sur les côtés, ont fait partie des points abordés durant le briefing de la mission.

Lors de la première approche à Grenoble, le plan de la finale est « *assez plat, légèrement décalé à droite de l'axe de piste* ». Lorsque le pilote au commande débute son arrondi, l'avion ne touche pas le sol au point d'impact visé.

Le pilote place avant, dont la visibilité se trouve réduite durant cette phase, constate alors que l'appareil dévie sur la partie gauche de la piste. La trajectoire semblant diverger, il reprend les commandes et remet les gaz.

Simultanément, l'appareil touche « *durement* » la piste et rebondit.

Le CdB se présente, alors en finale 04 avec une approche en crabe, ce qui lui permet de maintenir un « *bon visuel* » de la piste.

A l'atterrissage, l'équipage perçoit un choc s'accompagnant d'une embardée sur la droite de l'appareil.

Par une action combinée sur les commandes de vol, le CdB en place avant maintient l'appareil sur l'axe de la piste, jusqu'à son immobilisation 180 mètres après le début de la piste.

L'équipage est indemne.

3.2. Causes de l'événement

L'événement est imputable aux facteurs humains :

- A une erreur qui a conduit au stockage d'un pneumatique inhabituel, puis à son utilisation lors d'une opération de maintenance. Ignorant cette erreur, le pneu utilisé a été gonflé à cinquante pourcents de sa valeur optimale, engendrant un défaut d'amortissement.
- A un contexte organisationnel qui a conduit à réduire le nombre d'heures de vol attribuées à l'EVAA et ainsi à vouloir optimiser un déplacement aérien programmé. Le pilote aux commandes s'est alors retrouvé dans une situation de vol non enseignée. Confiant dans son copilote, le CdB n'a su déceler à temps un défaut de maîtrise lors de l'approche.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

4.1.1. Risque lié à la maintenance des appareils

Par un défaut de ségrégation des rechanges, un pneu ne faisant pas partie des rechanges Extra a été entreposé puis avionné. En conséquence, le BEAD-air recommande à :

l'armée de l'air d'étudier une amélioration de la ségrégation des pièces à l'EVAA.

4.1.2. Risque lié à un atterrissage avec le train endommagé

Le premier atterrissage a endommagé le train, sans que l'équipage en ait conscience. Aucune procédure n'existe lors d'un atterrissage « dur », en conséquence, le BEAD-air recommande à :

**- l'armée de l'air d'étudier l'intégration dans la documentation aéronef d'un paragraphe « conduite à tenir en cas de toucher « dur » avec ou sans remise des gaz » ;
- la DGA, en liaison avec la société Extra Aircraft, d'étudier l'intégration d'une procédure « atterrissage dur » dans la check-list.**

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

L'échantillonnage des paramètres enregistrés par l'APIBOX rend très difficile l'exploitation des communications enregistrées.

En conséquence, le BEAD-air recommande à :

l'armée de l'air et à la DGA d'étudier une amélioration du système APIBOX.

Malgré de nombreux vols de transit, et afin de prendre en compte la problématique liée à une éventuelle panne, les appareils de l'EVAA ne sont pas dotés d'une balise de détresse. En conséquence, le BEAD-air recommande à :

l'armée de l'air d'équiper les avions de l'EVAA de balises de détresse.

ANNEXE

ANNEXE 1 Progression d'un pilote de voltige.....32

ANNEXE 1

Progression d'un pilote de voltige

Après avoir répondu à une prospection de la Direction des ressources humaines de l'armée de l'air (DRHAA), les candidats pilotes sont évalués lors de vols effectués sur Extra 330. Les entretiens avec l'équipe en place permettent de valider le recrutement, qui est à la fois réalisé sur des critères techniques et humains.

La progression d'un nouveau pilote est alors calquée sur les exigences demandées par les instances civiles nationales (Direction Générale de l'Aviation Civile, Fédération Française Aéronautique) et internationales (Fédération Aéronautique Internationale, Commission Internationale pour la Voltige Aérienne) qui encadrent et régissent la pratique de l'activité.

D'un point de vue réglementaire, la pratique de la voltige en France est soumise à l'obtention de qualifications.

Celles-ci sont au nombre de deux et correspondent à un niveau de technicité:

- le 1^{er} cycle ou voltige élémentaire positive.

Durant cette phase, le pilote apprend les figures de base réalisées sous facteur de charge positif.

- le 2nd cycle ou voltige avancée et négative.

Durant cette phase, le pilote apprend les figures avancées de la discipline (déclenchés, rotations verticales,...) réalisées sous facteurs de charges positif et négatif.

La suite de la progression s'effectue « au travers » des niveaux de compétition. Au stade national ils sont encadrés par le règlement sportif de la fédération française d'aéronautique, ce dernier est lui-même tiré du règlement international publié par la CIVA⁸.

En France, il existe six niveaux de compétition répartis en deux catégories :

- Catégorie biplace (cette catégorie est réservée aux avions écoles (biplaces) qui englobe les premiers niveaux de compétition :
 - Espoir = Niveau 1^{er} cycle.
 - Promotion = Niveau 2nd cycle.
 - National 2 = Niveau 2nd cycle avancé.
- Catégorie monoplace (cette catégorie est réservée aux appareils performants) qui englobe les niveaux plus élevés de compétition):
 - National 1 (ou *advanced* en international) = National 2 mais avec des avions performants.
 - Excellence = Niveau uniquement Français qui constitue l'examen de passage pour rentrer en catégorie Elite.
 - Elite (ou *unlimited* en international) = Niveau le plus élevé dans la voltige de compétition.

Tout pilote voulant progresser dans le domaine de la compétition, devra obligatoirement passer par toutes ces étapes. Le passage dans la catégorie supérieure est fonction des résultats obtenus en compétition.

⁸ *Aérobatics commission.*

L'autre aspect de la progression à l'EVAA, s'inscrit dans le cadre des présentations en vol de l'armée de l'air. Il consiste à l'entraînement à la présentation pour les meetings. Un minimum de deux années d'expérience au sein de l'équipe et/ou une qualification dans la catégorie monoplace est nécessaire pour effectuer ce type de vol.

L'entraînement des pilotes de l'équipe s'inscrit dans cette logique de progression. Ainsi un nouveau pilote arrivant à l'EVAA sans aucune expérience de voltige aérienne, doit en premier lieu satisfaire aux exigences requises pour l'obtention du 1^{er} et 2nd cycle. Durant cette phase, les vols sont effectués majoritairement en double commande, une partie importante étant consacrée aux tours de piste (normaux et entraînement à l'atterrissage en panne moteur simulée) afin de maîtriser la technique d'atterrissage avec un avion équipé d'un train classique. Cette phase terminée, le pilote progresse en suivant la logique des niveaux de compétition (deux niveaux par an en moyenne). A l'issue de cette phase, les vols s'effectuent alors majoritairement en solo.

Jusqu'à l'obtention du niveau élite, l'entraînement est supervisé par les pilotes plus anciens. Puis, chaque vol d'entraînement est contrôlé depuis le sol, afin de débriefer en direct le travail effectué et d'apporter des conseils pour corriger les défauts constatés.