



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT D'ENQUÊTE DE SÉCURITÉ



BEAD-air-A-2013-015-I

Date de l'événement	4 novembre 2013
Lieu	Aérodrome Strasbourg Entzheim
Type d'appareil	Socata TBM 700G
Immatriculation	FRAXE n° 78
Organisme	Armée de l'air
Unité	Escadron de chasse et d'expérimentation 05.330 « Côte d'argent »

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'unique objectif de l'enquête de sécurité est la prévention des accidents et incidents sans détermination des fautes ou des responsabilités. L'établissement des causes n'implique pas la détermination d'une responsabilité administrative civile ou pénale. Dès lors toute utilisation totale ou partielle du présent rapport à d'autres fins que son but de sécurité est contraire à l'esprit des règlements et relève de la responsabilité de son utilisateur.

CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page de garde : armée de l'air

Photos :

- pages 15 à 18 : BGTA Strasbourg

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	13
1.9. Télécommunications	13
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	13
1.11. Enregistreurs de bord	14
1.12. Renseignements sur l'appareil et sur l'impact	15
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	19
1.14. Incendie	19
1.15. Questions relatives à la survie des occupants	19
1.16. Essais et recherches	19
1.17. Renseignements sur les organismes	19
1.18. Renseignements supplémentaires	21
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	23
2. Analyse	24
2.1. Séquence d'événements en approche et à l'atterrissage	24
2.2. Analyse des causes relevant des facteurs humains	26
3. Conclusion	30
3.1. Eléments établis utiles à la compréhension de l'événement	30
3.2. Causes de l'événement	30
4. Recommandations de sécurité	31
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	31
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	32
ANNEXES	33
ANNEXE 1 POSITIONNEMENT DES TRACES RELEVÉES SUR LA PISTE	34
ANNEXE 2 EVOLUTION DES PARAMETRES A L'ATTERRISSAGE	35

GLOSSAIRE

ALAT	aviation légère de l'armée de terre
AMV	atterrissage mauvaise visibilité
ATIS	service automatique d'information de région terminale
BA	base aérienne
CAG	circulation aérienne générale
CDB	commandant de bord
CEAM	centre d'expériences aériennes militaires
CEMPN	centre d'expertises médicales du personnel navigant
CFA	commandement des forces aériennes
CPMRA	consignes permanentes de maîtrise du risque aérien
DGA	direction générale de l'armement
ECE	escadron de chasse et d'expérimentation
EETIS	ensemble équipe technique et instruction spécialisée
ESTA	escadron de soutien technique aéronautique
ft	<i>feet</i> - pied (1 ft \approx 0,30 mètre)
hPa	HectoPascal
IFR	<i>instruments flight rules</i> - règles de vol aux instruments
ILS	<i>instrument landing system</i> - système d'atterrissage aux instruments
kt	<i>Knots</i> - Nœuds (1 kt \approx 1,852 km/h)
LDG	<i>landing</i> , atterrissage
METAR	message d'observation météorologique régulière pour l'aviation
NOSA	navigateur officier systèmes d'armes
PA	pilote automatique
PN	personnel navigant
QNH	indique la pression ramenée au niveau de la mer
QFE	direction magnétique de la piste
TAC	<i>terminal aerodrome forecast</i> - message météorologique de prévision d'aérodrome
TO	<i>take-off</i> , décollage
UTC	<i>universal time coordinated</i> - temps universel

SYNOPSIS

Date et heure de l'événement : lundi 4 novembre 2013 à 11h10
Lieu de l'événement : aéroport de Strasbourg Entzheim (LFST)
Organisme : armée de l'air
Direction : centre d'expériences aériennes militaires (CEAM)
Unité : escadron de chasse et d'expérimentation (ECE) 05.330 « Côte d'argent »
Aéronef : Socata TBM 700G (rénové Garmin G1000)
Nature du vol : liaison Mont-de-Marsan – Strasbourg
Nombre de personnes à bord : 5 (2 membres d'équipage et 3 passagers)

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Lors de l'atterrissage à Strasbourg, l'appareil effectue des rebonds et impacte la piste sur le train avant. L'appareil est stoppé sur le côté droit de la piste. Les personnes à bord évacuent et sont indemnes. Le train avant et l'hélice sont endommagés.

Composition du groupe d'enquête de sécurité

- un directeur d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air) ;
- un enquêteur adjoint du BEAD-air ;
- un officier pilote de l'armée de l'air ;
- un sous-officier mécanicien de l'armée de l'air ;
- un médecin du personnel navigant.

Autres experts consultés

- Direction générale de l'armement/Essais propulseurs/Restitution d'enregistreurs d'accidents (DGA/EP/RESEDA).

Déclenchement de l'enquête de sécurité

Le BEAD-air est prévenu de l'incident le jour même à 11h40 par le bureau maîtrise des risques de l'armée de l'air. Le groupe d'enquête se réunit le lendemain matin à l'aéroport de Strasbourg où il recueille le témoignage de l'équipage et procède aux investigations sur l'appareil.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Indicatif mission : FAF 9178

Régime de vol : Circulation arienne générale / *Instrument flight rules* (CAG / IFR - Vol réalisé suivant les règles de la circulation arienne générale et du vol aux instruments)

Type de mission : liaison Mont-de-Marsan (LFBM) – Strasbourg et retour

Heure de décollage : 9h25

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

La mission est programmée et l'équipage désigné dans la semaine précédent le vol. Il s'agit de transporter à Strasbourg trois passagers militaires non navigants se rendant sur la base aérienne de Drachenbronn, puis de retourner dans l'après-midi à Mont-de-Marsan.

L'équipage comprend en place gauche un pilote commandant de bord (CDB), pilote en fonction, et à droite un navigateur officier système d'armes (NOSA) ayant reçu une instruction sur le système G1000.

Le pilote effectue une première consultation des prévisions météo le jeudi 31 octobre. Elles font état d'une situation globale perturbée en route et à l'arrivée. Le terrain ne lui est pas familier et il prend donc contact avec les services de l'aéroport de Strasbourg pour connaître les modalités de transit des passagers et le parking le plus adéquat.

Les plans de vol sont déposés le 31 octobre. Le décollage est prévu à 9h15 le lundi 4 novembre. Les terrains de dégagement sont Nancy Ochey et Luxeuil. Le décollage de Strasbourg pour le vol retour est prévu le même jour à 14h00, sans passager.

Le pilote consulte les NOTAM¹ le dimanche 3 novembre. Ils font état de l'indisponibilité de la balise NDB à Strasbourg.

Le jour du vol, le pilote actualise la protection météo vers 7h30. Des vents forts sont prévus au-dessus du massif central et à l'arrivée, avec des rafales allant jusqu'à 30 *Knots* (kt) à Strasbourg.

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

S'agissant d'un vol de reprise pour le NOSA, l'équipage se rend à l'avion en avance afin de configurer le système G1000 et se familiariser avec les manipulations de ce système.

Les trois passagers sont prévenus à l'embarquement des risques de turbulences en vol. Ils prennent place sur le siège passager avant droit et sur les deux sièges arrière.

Le décollage est retardé d'une dizaine de minutes suite à un problème temporaire de calage de l'horizon pneumatique de secours.

¹ Message d'information aéronautique.

Le vol se déroule tel que prévu avec un vent arrière en croisière au *flight level* (FL – niveau de vol) 260 de l'ordre de 55 kt.

Le service automatique d'information de région terminale (ATIS) de Strasbourg annonce la piste 23 en service, nuages morcelés à 3 500 *feet* (ft), visibilité supérieure à 10 km, vent au sol 190° pour 14 à 23 kt.

A l'approche de Strasbourg, l'appareil est pris en guidage radar vers l'axe *Instrument landing system* (ILS). L'équipage a le visuel du terrain dès la sortie de la couche nuageuse, 10 minutes avant l'atterrissage. Il s'aperçoit que la mise en descente sur le glide ne se produit pas, suite à un oubli de configuration du pilote automatique (PA) en mode approche. L'appareil est piloté en manuel vers le plan de descente puis le PA est réenclenché.

L'appareil étant établi en finale, le contrôle annonce un vent de 200°/13 kt rafales à 22 kt.

Le pilote décide de majorer la vitesse en finale de 10 à 15 kt et d'adopter 100 kt puis 95 kt.

Le pilote annonce au NOSA « il faut t'attendre à une remise de gaz ». Le contrôle autorise l'atterrissage et annonce un vent de 190°/14 kt maximum 23 kt.

Le pilote lit une composante de vent de travers de 13 à 14 kt sur le GARMIN. Il décide d'effectuer le poser en prenant en compte une limitation de vent de travers de 20 kt.

Le pilote coupe le pilote automatique et l'amortisseur de lacet vers 800 ft, avant l'altitude de décision².

En courte finale, le *primary flight display* (PFD) présente une composante de vent de face de 20 kt et une composante travers de 5 kt.

L'appareil se présente à l'atterrissage à 11h10. Des oiseaux s'envolant du seuil sont alors aperçus par l'équipage. La piste est sèche.

L'appareil effectue un premier rebond puis deux autres rebonds de plus en plus prononcés. Aux deuxième et troisième rebonds, le pilote est surpris par la hauteur atteinte par l'appareil. Selon son témoignage, il « *accompagne* » ces rebonds au manche.

Le CDB ressent que l'hélice touche le sol. Le NOSA perçoit qu'une partie métallique du train avant frotte le sol.

L'appareil reste contrôlable et est dirigé sur le bord droit de la piste. L'appareil s'immobilise après le taxiway F.

Le pilote annonce « *panne panne panne...* » à la radio. Il coupe le moteur puis abaisse la barrette de crash. Il ouvre la porte puis l'avion est évacué.

Les pompiers arrivent à l'appareil peu après son évacuation. Il n'y a pas de blessé.

Le train avant et l'hélice sont endommagés.

Le train avant est appuyé sur une palette puis l'appareil est tracté jusqu'au taxiway Q vers le parking B.

Deux appareils de transport public sont déroutés vers l'aéroport de Bâle-Mulhouse durant la période d'indisponibilité de la piste.

Une inspection de piste est effectuée puis celle-ci est ouverte à 12h00.

²690 ft.

1.1.3. Localisation

Une vue satellite figure en annexe 1 (positionnement des traces relevées sur la piste et point d'immobilisation de l'appareil).

- Lieu :
 - pays : France
 - département : Bas-Rhin
 - commune : Entzheim
 - aéroport Strasbourg Entzheim, piste 23
 - altitude du lieu de l'événement : 490 ft
- Moment : jour

1.2. Tués et blessés

Blessures	membres d'équipage	passagers	Autres personnes
Mortelles			
Graves			
Légères			
Aucune	X	X	

1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
TBM 700G n° 78			X	

1.4. Autres dommages

Traces de frottement sur la piste, laissées par l'hélice et la jante de la roue avant.

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1. Pilote commandant de bord

- Age : 50 ans
- Sexe : masculin
- Unité d'affectation : ECE 05.330
 - fonction dans l'unité : officier directeur système d'armes
- Breveté pilote de chasse en 1985
- Formation sur TBM 700 :
 - du 4 au 7 avril 2011 : ensemble équipe technique et instruction spécialisée (EETIS) TBM 700 SQC PIL (formation délivrée par l'escadron de soutien technique aéronautique (ESTA) 2E.060 BA 107 Villacoublay)
 - du 12 avril au 4 mai 2011 : Programme de transformation TBM 700 CEAM origine chasse (5 vols)
 - entre le 4 mai au 17 juin 2011 : 6 vols atterrissage par mauvaise visibilité (AMV), pré-test puis phase de vieillissement (7 missions)
 - 1^{er} vol CDB le 24 juin 2011
- Formation sur TBM 700G :
 - EETIS G1000 suivi les 16 et 17 janvier 2013 (formation délivrée par l'ESTA 2E.060 BA 107 Villacoublay)
 - formation RNAV/GNSS théorique le 8 avril et pratique le 9 avril 2013 (effectuée au sein de l'escadrille avions de l'armée de terre à Rennes et comprenant 2 vols d'une durée totale de 2 heures et 10 minutes)
- Heures de vol :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tous types	dont sur TBM 700	sur tous types	dont sur TBM 700	sur tous types	dont sur TBM 700
Total	3 050h	249h50	16h15	16h15	11h50	11h50

- Arrêt des vols sur Alphajet fin 2010, vole uniquement sur TBM 700 depuis avril 2011 (a volé avant cette date sur TBM 700 en place droite non lâché machine)
- Activité sur TBM 700 depuis début 2013 : 47 heures dont 37 heures et 35 minutes sur TBM 700G
- Interruption des vols TBM 700 au CEAM entre le 12 juillet et le 17 septembre 2013 (appareil n° 78 en maintenance)
- Carte verte monopilote TBM 700 (mission type carte effectuée le 17 octobre 2013)
- Date du dernier vol sur TBM 700 : 23 octobre 2013, il s'agissait du vol annuel de révision des manœuvres de sécurité (RMS) d'une durée d'1 heure et 30 minutes

1.5.1.2. Membre d'équipage en place droite (NOSA)³

- Age : 46 ans
- Sexe : masculin
- Unité d'affectation : ECE 05.330
 - fonction dans l'unité : officier directeur système d'armes
- qualifié chef navigateur en 1999
- Formation sur TBM 700G : instruction G1000 le 17 mai 2013
- Heures de vol :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tous types	dont sur TBM 700	sur tous types	dont sur TBM 700	sur tous types	dont sur TBM 700
Total	2 031h55	36h15	8h15	8h15 ⁴	0h	0h

- Nombre de vols effectués en tant que membre d'équipage sur TBM 700G : 4
- Date du dernier vol sur TBM 700 : 9 juillet 2013 (vol CAG/IFR sur TBM rénové)

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de l'air
- Base aérienne de stationnement : BA 118 Mont-de-Marsan
- Unité d'appartenance : ECE 05.330

1.6.1. Maintenance appareil n° 78

	Type	Série	Heures de vol totales	Atterrissages
Cellule	TBM 700G	78	7 572h55	7 334
Moteur	PW PT6A-64	111 077	1 086h15	
Hélice	Hartzell	HH701	5 140h40	
Atterrisseur auxiliaire		U92		3 485 TSO
Ensemble roue avant		1 100		523 TSO

³Le TBM 700 est certifié monopilote. Les consignes permanentes de maîtrise du risque aérien (CPMRA) CEAM imposent un équipage composé de 2 personnels navigants (PN) dont 1 CDB qualifié en cas de transport de passagers.

⁴Toutes sur TBM 700G.

- Sortie du chantier de rénovation G1000 le 13 mars 2013 (Socata)
- Visites 10 ans et 100 heures du 12 juillet au 17 septembre 2013 (Socata)
- Dernière opération sur les trains : remplacement roue principale droite le 23 octobre 2013 par l'ESTA Mont-de-Marsan

1.6.2. Performances appareil n° 78

- Masse à vide : 1 934 kg

	Masse totale (kg)	Centrage (%)	Quantité de carburant (USG) ⁵
Au décollage de Mont-de-Marsan	2 942	30,3	200 (760 litres)
A l'atterrissage à Strasbourg	2 644	30,7	100

La distance d'atterrissage théorique (D 50 ft) dans les conditions figurant au manuel de vol est de l'ordre de 600 mètres (distance de roulement de l'ordre de 300 mètres).

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

Message *Terminal aerodrome forecast* (TAF) Strasbourg Entzheim émis le 4 novembre à 5h *Universal time coordinated* (UTC) (protection météo équipage) :

LFST 040500Z 0406/0506 20015G30KT9999 BKN050 TEMPO 0406/0424 5000 SHRA BKN025TCU BECMG 0415/0418 20012KT BECMG 0420/0423 30015KT BECMG 0503/0506 24006KT

Message TAF Nancy Ochey émis le 4 novembre à 5h UTC (protection météo équipage) :

LFSO 040500Z 0406/0415 20025G40KT 9999 -RA BKN020 BKN040 TEMPO 0406/0415 7000 RA BKN014 BKN020

1.7.2. Observations

Situation générale le 4 novembre

- Le matin, un minimum dépressionnaire se déplace rapidement de l'Angleterre vers le Danemark
- La perturbation associée traverse la France, et notamment l'Alsace : flux assez fort de sud-ouest, ciel couvert avec pluies intermittentes

Message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (METAR) Mont-de-Marsan émis le 4 novembre à 6h UTC (protection météo équipage) :

LFBM 040600Z AUTO 24009KT 200V270 9999 FEW033 BKN070 OVC086 13/11 Q1006

⁵La contenance des réservoirs est de 290 USG.

Les conditions estimées à Strasbourg Entzheim le 4 novembre à 11h sont les suivantes :

- ciel couvert avec 8/8 de stratocumulus à 1 200 mètres
- phénomènes : néant
- visibilité : supérieure à 10 km
- vent moyen : sud 14 kt
- vent max instantané : sud-sud-ouest 22 kt
- température/point de rosée/humidité : 12°C/8°C/80%
- turbulence : forte
- QNH (indique la pression ramenée au niveau de la mer) : 995 HectoPascal (hPa)

Les mesures de vent issues du capteur situé au seuil piste 23 sont les suivantes le 4 novembre :

Heure	Orientation vent maxi (°)	Intensité vent maxi (kt)	Orientation vent moyenné sur 10 min	Intensité vent moyenné sur 10 min	Orientation vent moyenné sur 2 min	Intensité vent moyenné sur 2 min
11h00	170	19,2	190	14,8	190	13,6
11h01	200	19,2	190	14,8	190	13,6
11h02	200	23,8	190	14,8	190	13,4
11h03	200	25,4	190	15,2	190	14,6
11h04	200	18,2	190	15	190	14,6
11h05	170	20,6	190	15	190	14,2
11h06	200	20,6	190	14,6	190	14,2
11h07	200	21,6	190	14,4	190	14,2
11h08	210	20	190	14	190	14,6
11h09	210	21,6	190	14,2	200	14,4
11h10	210	16,4	190	14	200	12,6
11h11	200	22	190	14,2	190	13,2
11h12	200	22,8	190	14	190	14,2
11h13	180	23,6	190	13,8	190	13,4
11h14	190	24,8	190	14,2	190	15,6
11h15	200	24,2	190	14,2	190	16,2
11h16	200	20,8	190	14,4	190	14,8
11h17	200	29,2	190	14,6	190	15,8
11h18	190	26,4	190	15	190	17,6
11h19	200	20,8	190	14,8	190	15,8
11h20	190	21,6	190	15,4	190	14,6

1.7.3. Conditions à l'arrivée recueillies en vol par l'équipage

- Ecoute de l'ATIS Strasbourg 35 minutes avant l'atterrissage :
 - ILS piste 23
 - vent au sol 190°/14 kt maximum 23 kt
 - visibilité supérieure à 10 km
 - température 11°C
 - QNH 995 – QFE (Calage altimétrique en hPa permettant de lire une hauteur sur un altimètre) 978 hPa
 - peu de nuages à 3 900 ft, ciel couvert à 8 600 ft
- Vent demandé au contrôle par le pilote, 15 minutes avant l'atterrissage : 190°/13 kt rafales 22 kt
- Vent annoncé par le contrôle, 8 minutes avant l'atterrissage : 190°/13 kt rafales 25 kt
- Vent annoncé par le contrôle, 4 minutes avant l'atterrissage : 190°/14 kt maximum 23 kt
- Vent de travers gauche lu sur le G1000 en longue finale, 45 secondes avant l'atterrissage : entre 13 et 15 kt
- Dernières informations de vent lues sur le G1000 en courte finale : 5 kt de travers gauche, 20 kt de face

1.8. Aides à la navigation

Le système Garmin G1000 associe deux GPS, deux récepteurs VOR-ILS-DME et un récepteur ADF. Le système est certifié navigation P-RNav, précision RNP1 et permet d'effectuer des percées aux instruments du type NDB, VOR, ILS et GNSS.

Ces équipements étaient opérationnels.

1.9. Télécommunications

Le TBM 700G dispose de 3 radios VHF. Elles étaient opérationnelles lors du vol.

Les communications avec le contrôle étaient nominales.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

L'aéroport de Strasbourg Entzheim est équipé d'une piste revêtue orientée 05/23 (048°/228°) d'une longueur de 2 400 mètres et d'une largeur de 45 mètres. La distance d'atterrissage disponible au QFU (Direction magnétique de la piste) 23 est de 2 400 mètres.

Au QFU 23, les percées sont de type ILS, LOC, VOR ou NDB et un indicateur PAPI est disponible (pente 3°).

L'altitude au seuil 23 est de 490 ft.

1.11. Enregistreurs de bord

1.11.1. Présentation du système APIBOX sur TBM 700G

Les TBM 700 de l'armée de l'air et de l'Aviation légère de l'armée de terre (ALAT) ont été équipés d'un système d'enregistrement de paramètres et de phonie de type Apibox I9190-001 lors du chantier de rénovation G1000.

Les données issues principalement du système G1000 sont enregistrées à la fois dans un module durci (norme environnementale DO160D) et dans une unité de stockage accessible sur le tableau de bord (enregistrement sur carte SD).

Les paramètres suivants sont enregistrés à une fréquence d'1 Hz :

- date – heure GPS
- marqueur d'événement
- tensions des différents bus
- 7 paramètres turbine
- quantités de carburant
- température extérieure
- attitude avion (assiette-roulis)
- accélérations sur les 3 axes
- position trains, sélecteur train, volets
- altitude pression et correction altimétrique
- vitesse indiquée, cap
- données GPS (longitude, latitude, altitude, cap, vitesse sol)
- fréquences COM1 et COM2

Les signaux audio des postes pilote-copilote sont enregistrés.

Des dépassements de limites de 6 paramètres sont enregistrés (vitesse, facteur de charge, paramètres moteur) et associés à une signalisation visuelle sur le tableau de bord. Le seuil de dépassement de l'accélération verticale est de 2g (volets sortis).

Les positions des commandes de vol ne sont pas enregistrées.

La capacité d'enregistrement est d'une centaine d'heures (carte SD 2 Go).

1.11.2. Données extraites

62 fichiers de données de vol ont été extraits de la carte SD (dont au moins 25 correspondent à des vols effectués entre le 11 octobre et le 4 novembre 2013).

Concernant le vol de l'incident, il est constaté que l'enregistrement sonore est en retard d'une dizaine de secondes par rapport à l'enregistrement des paramètres.

Aucun dépassement n'est enregistré lors de ce vol.

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

1.12.1. Examen de l'appareil

Les endommagements constatés lors des premiers examens visuels sont les suivants⁶ :

- sur le train auxiliaire : fût et essieu déformés, jante rompue, pneumatique déchiré, présence de trace d'huile sur toute la longueur apparente de la tige de l'amortisseur présumant un enfoncement jusqu'en butée (talonnement)
- sur l'hélice : les extrémités des 4 pales sont fléchies sur environ 15 cm
- le capot moteur inférieur présente des traces d'impacts (peinture éraflée) et une trace de gomme de pneumatique

Les trains principaux sont visuellement intègres.

Les gardes mesurées des 3 amortisseurs sont dans les tolérances :

- train avant : supérieure à 63 mm avec le demi-plein
- trains principaux : supérieure à 55 mm avec le demi-plein



Vue de l'appareil (position finale)

⁶Un contrôle d'intégrité de la structure (triangulation) a été effectué par le constructeur, sans révéler d'anomalie.



Vue du train avant

Trois débris de la jante du train avant et un débris du pneumatique avant ont été récupérés sur la piste par les pompiers de l'aéroport. Ils se situaient aux alentours du taxiway F.



Débris de la jante et du pneumatique du train avant

1.12.2. Traces relevées sur la piste

Une vue satellite positionnant les traces sur la piste figure en annexe 1.

Depuis le point de référence choisi au seuil de piste QFU 23 (ligne transversale blanche qui précède les marques de seuil), sont successivement constatés :

- à 400 mètres : à 1,50 mètres à gauche de l'axe central, une première série de 8 sillons creusés dans le bitume par les pales de l'hélice du TBM n° 78
- 67 mètres plus loin : à 3,50 mètres à gauche de l'axe, une deuxième série de 11 sillons, et un sillon central d'une profondeur de 1 cm et d'une longueur de 1,50 mètre
- 250 mètres plus loin : sur une longueur de 67 mètres, une trace d'abrasion du bitume laissée par la jante de la roue avant ; cette trace commence sur l'axe de piste puis se dirige vers le bord droit de la piste jusqu'au point d'immobilisation de l'avion ; des dépôts de pneumatique sont visibles au début de cette trace



Première série de sillons (vue QFU 23)



Deuxième série de sillons (vue QFU 23)



Trace d'abrasion et position finale de l'appareil

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Pilote CDB

- Dernier examen médical :
 - type : expertise Centre d'expertise médicale du personnel navigant (CEMPN) de Bordeaux
 - date : 2 juillet 2013
 - résultat : apte
 - validité : 12 mois
- Blessures : néant

1.13.2. Membre d'équipage en place droite (NOSA)

- Dernier examen médical :
 - type : expertise CEMPN de Bordeaux
 - date : 30 août 2013
 - résultat : apte
 - validité : 12 mois
- Blessures : néant

1.14. Incendie

Sans objet.

1.15. Questions relatives à la survie des occupants

Sans objet.

1.16. Essais et recherches

Sans objet.

1.17. Renseignements sur les organismes

Au sein du ministère de la défense, le TBM 700 est mis en œuvre par l'armée de l'air (commandement des forces aériennes (CFA) et CEAM), l'aviation légère de l'armée de terre (ALAT) et la DGA/Essais en vol (EV).

1.17.1. Programme de formation et de contrôle TBM 700 CP Chasse au CEAM

Ce programme fait l'objet de la note n° 953/DEF/CEAM/DIRXP/SA4 du 21 Mars 2008.

Il traite de la formation à la qualification machine des pilotes de chasse du CEAM. Il concerne les pilotes qualifiés chef de patrouille dont le nombre d'heures de vol total est supérieur à 1 500, dont 300 heures de vol sans visibilité (VSV).

Il comporte trois phases à l'issue desquelles l'officier sécurité des vols du CEAM propose la qualification commandant de bord TBM 700 du pilote concerné au commandant du CEAM :

- une phase théorique dispensée par l'officier responsable de la formation TBM 700 du CEAM et comprenant 8 cours « utilisation avion » dont un test final puis 6 cours IFR
- une phase pratique dispensée par un moniteur du CEAM et comportant 5 vols puis un test : 2 vols de tenue machine, un vol d'utilisation particulière, 2 vols de procédure d'approche mauvaise visibilité (AMV), un vol test (effectué par un pilote examinateur du CEAM)
- une phase de vieillissement, comprenant 6 étapes, en IFR si possible, au cours desquelles le pilote concerné sera systématiquement en fonction (place gauche), le pilote en place droite ayant la qualification de CDB minimum. Au cours de ces vols, l'accent est mis sur le travail en ligne et les procédures d'AMV

1.17.2. Limitations de vent à l'atterrissage sur TBM 700 au CEAM

Ces limitations sont les suivantes (source CPMRA CEAM juillet 2013, titre O consignes particulières aux TBM – ordre 70 cas particuliers – 6 limitations de vent au décollage et à l'atterrissage)⁷ :

Dans l'axe : la limitation vent de face est égale à 40 kt.

De travers : lorsque le vent souffle en rafale, la valeur totale de la rafale doit être appliquée intégralement pour le calcul du vent de travers.

- 25 kt Piste sèche,

- 20 kt Piste mouillée.

Vent Arrière : la limitation vent arrière est de 10 kt.

1.17.3. Majoration de vent à l'atterrissage sur TBM 700 au CEAM

Elle n'est pas spécifiée dans la documentation CEAM. La méthode prévue est celle figurant au Manex CFA (partie B- procédures normales-II-16 approches) :

Majorations de vitesse liées au vent :

La vitesse sera majorée de la valeur suivante jusqu'au début de l'arrondi dans le cas où le vent maximum (rafales comprises) est supérieur à 20 kts : $[\text{vent max}-10] / 2$.

Exemple : vent 18 kts avec rafales à 30 kt : $80 + [30-10]/2 = 90$ kt aux balises.

⁷Ces limitations sont identiques à celles du CFA, excepté la limitation à 40 kt qui est omnidirectionnelle (source Manex TBM 700G édition 1, révision 1 avril 2013).

1.17.4. Références au risque de rebond à l'atterrissage sur TBM 700 dans le référentiel d'instruction et d'emploi CEAM et CFA

Manex CFA TBM 700, Partie B/procédures normales/ III procédures en entraînement/tour de piste standard :

Remarques : ... Éviter absolument de se poser avec le levier de puissance en avant de la position plein réduit. Le toucher pourrait alors se faire «trois points» au risque d'endommager l'hélice en cas de rebonds.

1.18. Renseignements supplémentaires

1.18.1. Caractéristiques et limitations du TBM 700 utiles à la compréhension de l'événement

Source : manuel de vol Socata (*Pilot's operating handbook*, édition 1 du 30 novembre 2010, révision 2)

- mototurbopropulseur pressurisé, certifié en 1990
- équipage minimal : un pilote
- appareil de catégorie A (VAT < 90 kt)
- turbopropulseur Pratt&Whitney Canada PT6A-64 (700 SHP à 2 000 tr/min)
- hélice quadripale Hartzell (2,286m < diamètre < 2,311m)
- masse maximale au décollage 2 984 kg
- masse maximale à l'atterrissage 2 835 kg
- les volets peuvent être sortis sur les positions décollage (*take-off* (TO), 10°) ou atterrissage (*landing* (LDG), 34°)
- seule la configuration d'atterrissage avec volets sur LDG est considérée dans le manuel de vol (procédures normales d'atterrissage, calcul des performances)
- vitesse préconisée en approche (volets LDG) : 80 kt
- vitesse préconisée au toucher (volets LDG) : 65 kt
- vitesse de décrochage en configuration atterrissage : 60 kt à la masse maximale, 59 kt à la masse de 2 640 kg
- vitesse préconisée en approche en cas de panne de volets (volets rentrés ou en position TO) : 100 kt
- vitesse préconisée en approche en cas de panne de volets (volets sortis au-delà de la position TO) : 95 kt
- vent traversier maximum démontré : 20 kt
- les trains sont équipés d'amortisseurs oléo-pneumatiques (huile AIR 3520B ; gonflage à l'azote sous une pression de 6 bar pour le train avant, de 11 bar pour les trains principaux)
- garde au sol de l'hélice : minimum 0,207 m⁸

⁸ Des mesures de distance entre l'extrémité de l'hélice et le sol ont été réalisées à Villacoublay sur 2 appareils dans des conditions de chargement similaires à celles de l'incident (5 personnes, 120 à 150 USG) : ces distances étaient de 25 et 23 cm (amortisseurs « au repos »).

1.18.2. Incidents et accidents à l'atterrissage sur TBM 700 recensés dans l'armée de l'air

Trois événements sont recensés. Concernant les deux premiers listés ci-dessous, les données indiquées sont issues de la base Vortex.

- le 1^{er} octobre 1993 sur la BA 107 de Villacoublay (vortex 19931070020, enquête menée par l'armée de l'air) :
 - impact de l'hélice à l'atterrissage,
 - *pilote : 6500 h, 250 h sur le type,*
 - *les conditions météo passent piste 27 mouillée, vent 180/14 kt rafale à 30 kt, visibilité supérieure à 10 km, plafond 2000 ft ; un cisaillement de vent a été signalé à partir de 500 ft ; en conséquence la finale est entreprise en configuration atterrissage avec une vitesse moyenne de VREF+25kt ; les 2 indications ultérieures de vent ont donné 180/14 kt puis en courte finale 180/16 kt ; l'arrondi est débuté à 95 kt ; l'avion est décrabé et reste stable sur l'axe, c'est alors que brutalement l'avion s'enfonce, touche violemment le sol et rebondit.*
 - *pales d'hélice tordues, déformation de la cloison pare-feu.*

- le 7 août 2000 sur la BA 701 de Salon de Provence (vortex 20001140015, enquête menée par l'armée de l'air) :
 - impact des deux ailes à l'atterrissage,
 - pilote : 2600 h, 450 h sur le type,
 - Stable à 2 Nm en finale 34 à vue à Salon, configuration volets TO et train sorti, Vi 110 kt Vw 310/13-19kt, masse 2t5, les balises sont passées à 100 kt, l'arrondi est cadencé normalement, l'avion est secoué par un rouleau à l'entrée de bande puis rentre en effet de sol à environ 1 mètre du sol: Vz=0 Vi décroissante klaxon décrochage. Le PAC garde le nez haut pour éviter de toucher l'hélice en gardant un couple 5%. L'avion s'enfonce mollement sur l'aile gauche, touche et rebondit sur l'aile droite. Il est remis dans l'axe de piste avec direction, gauchissement et puissance, puis est immobilisé.
 - *Aile gauche : pliure au niveau du radome (longerons touchés), flambage extrados, phare ATR cassé, pitot déformé ; Aile droite : déformation saumon.*

- le 27 février 2004 à Tarbes (enquête BEAD-A-2004-005-A)⁹ :
 - rupture du caisson du train principal droit à l'atterrissage,
 - pilote en fonction : 1000 heures, 170 heures sur le type,
 - quatre minutes avant l'atterrissage, le commandant de bord demande l'autorisation de procéder à une approche à vue pour la piste 20, l'équipage ayant visuel du grain qui se dirige sur l'aérodrome. Il y est autorisé. Le vent transmis est du 270° pour 20 kt avec des pointes à 27 kt.
 - Alors que le TBM 700 est à 1000 ft, en finale pour la piste 20, le vent annoncé est du 260° pour 22 kt avec des pointes à 27 kt. Le commandant de bord demande au pilote aux commandes de maintenir une vitesse comprise entre 90 kt et 95 kt pour la finale. Alors que l'avion est proche de l'arrondi pour réaliser l'atterrissage, le dernier vent annoncé est du 260° pour 25 kt avec une pointe à 36 kt. L'avion touche des roues, redécolle de quelques mètres puis retouche à nouveau, avec une vitesse verticale jugée importante par l'équipage.
 - Notamment, suite à cet accident, le mode de calcul du vent pris en compte lors d'un atterrissage par vent traversier a été modifié (prise en compte de la valeur totale de la rafale pour le calcul de la composante de travers).

1.18.3. Etude du Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'avion civile

Le BEA a publié en janvier 2013 une étude¹⁰ concernant les pertes de contrôle sur mototurbopropulseur rapide lors de remises des gaz, cas du Socata TBM 700 (mise à jour 1991-2010).

1.19. Techniques spécifiques d'enquête

Sans objet.

⁹ Rapport consultable sur le site intradef du BEAD-air.

¹⁰ Etude consultable sur le site internet du BEA.

2. ANALYSE

Lors du poser, le pilote perd le contrôle de l'appareil qui est endommagé à l'issue d'une série de rebonds.

Ce chapitre présente :

- l'analyse de la séquence d'événements en approche et à l'atterrissage
- l'analyse de l'origine probable de l'initiation et de l'amplification des rebonds
- l'analyse causale de l'incident

2.1. Séquence d'événements en approche et à l'atterrissage

Le vol en croisière se déroule tel qu'initialement prévu. L'équipage écoute l'ATIS 35 minutes avant l'atterrissage, le vent au sol annoncé est 190°/14 kt maximum 23 kt. A l'arrivée à Strasbourg, l'appareil est pris en guidage radar vers l'axe de percée. Les briefings arrivée et avant descente sont effectués sans précipitation. L'équipage acquiert le visuel de la piste 10 minutes avant l'atterrissage, dès la sortie de la couche vers 4 000 ft.

2.1.1. Séquence en approche

(T0 : instant du premier toucher estimé à 10h 09min 23sec)

T0 – 8 min : l'appareil quitte le cap sud en virant à droite pour intercepter le LOC à 3 500 ft

T0 – 7 min : les volets sont sortis en position TO, puis le train est sorti

T0 – 5 min 30 sec : l'appareil sous PA ne descend pas au point de descente, suite à l'oubli de sélection du mode approche : l'appareil est repris en manuel puis le mode est enclenché une fois le glide rejoint

T0 – 4 min 30 sec : les volets sont sortis sur LDG, Vi 109 kt

T0 – 4 min : le pilote dit au NOSA « il faut t'attendre à une remise de gaz », le contrôle autorise l'appareil à l'atterrissage et annonce un vent de 190°/14 kt maximum 23 kt

Lors de la finale, la vitesse est de 100 kt plus ou moins 5 kt, l'assiette moyenne avant le début de l'arrondi est de -5°

T0 – 5 sec : la puissance est réduite (le couple passe de 28 à 2%), la vitesse est alors de 92 kt, l'assiette passe -2.7° en augmentation

2.1.2. Séquence d'événements lors des rebonds

Des courbes de paramètres figurent en annexe 2.

Remarques concernant l'analyse des paramètres lors de l'atterrissage :

- la fréquence d'enregistrement des paramètres (1Hz) ne permet pas de retracer avec précision la trajectoire et l'attitude de l'appareil au-dessus de la piste
- la position des gouvernes n'est pas enregistrée
- les rebonds sont cependant mis en évidence et l'amplitude des variations d'assiette a probablement été plus grande que celle enregistrée

1^{er} rebond :

Le toucher est effectué à 85 kt (1.44 Vs) à une assiette de -1° à -2° ce qui correspond à un poser type « 3 points ».

Lors du deuxième toucher, la vitesse a diminué vers 75 kt (1.27 Vs) et l'assiette mesurée est de -4° . Cela correspond à l'impact de l'hélice sur la piste (1^{ère} série de sillons).

2^{ème} rebond :

L'impact sur le train avant puis les trains principaux provoque par réaction le redécollage de l'appareil qui a encore une vitesse supérieure à la vitesse de décrochage.

Lors de ce deuxième rebond, l'assiette culmine à $+4.5^{\circ}$ et la vitesse chute à 63 kt (1.08 Vs).

Le nez de l'appareil redescend ensuite. Le 3^{ème} toucher se produit à une assiette de -6° ce qui correspond à la deuxième série d'impacts de l'hélice sur la piste et à la déformation finale observée sur les pales. Le sillon relevé sur la piste semble indiquer que le pneu avant a éclaté à cet instant (contact de la jante sur la piste).

3^{ème} rebond :

L'origine de ce rebond est similaire au rebond précédent (action-réaction au niveau des trains) avec amplification des variations d'assiette ($-6/+6^{\circ}$). A l'approche du sommet, la vitesse est de 61 kt (1.03 Vs).

4^{ème} et dernier toucher :

La vitesse a chuté à 58 kt et est inférieure à la vitesse de décrochage.

2.1.3. Analyse de l'origine probable de l'initiation et de l'amplification des rebonds

Les vents annoncés lors de l'approche sont relativement constants ($190^{\circ}/13$ à 14 kt, rafales 22 à 25 kt).

Ils induisent une composante de vent de travers gauche de 10 à 15 kt, inférieure à la limitation CEAM (25 kt piste sèche, 20 kt piste mouillée, en prenant en compte la rafale). Pouvant s'attendre à une piste mouillée, le pilote a pris en compte une limitation à 20 kt.

Sans vent, sur TBM 700, la vitesse évolue en finale de 90 kt (vitesse minimum au point clé en dernier virage) vers 80-85 kt. Ces vitesses permettent d'effectuer une remise de gaz dans de bonnes conditions (marge à la rentrée des volets LDG vers TO). La vitesse préconisée au toucher des roues est de 65 kt.

Lors de l'incident, la vitesse moyenne enregistrée en finale est de 100 kt. Le pilote avait décidé d'adopter, compte tenu du vent, une vitesse en finale de 100 kt en diminution vers 95 kt aux balises, avec une vitesse minimale de 90 kt.

La vitesse enregistrée à la réduction moteur est de 92 kt, légèrement supérieure à la vitesse préconisée aux balises suivant la méthode CFA dans les conditions de vent rencontrées ($80 + (23-10)/2 \approx 87$ kt)¹¹.

La configuration à l'atterrissage est nominale (PA et Yaw¹² sur OFF, volets LDG). Le moteur est réduit et maintenu sur la butée ralenti vol durant le poser, conformément à l'attendu.

¹¹La méthode figurant au manuel de vol Daher Socata (POH, *pilot's operating handbook*) conduirait à adopter une vitesse aux balises de 89 kt.

¹² Amortisseur de lacet.

L'atterrissage se caractérise par une vitesse au premier toucher de 85 kt, supérieure de 15 à 20 kt à la vitesse préconisée (65-70 kt). Il apparaît donc que la régression de vitesse n'a pas été suffisamment pilotée lors de l'arrondi, menant à un poser type 3 points et au redécollage de l'appareil.

Lors du premier rebond, l'assiette n'est pas maintenue légèrement positive (nez au-dessus de l'horizon), ce qui conduit à un deuxième toucher avec une attitude à piquer et au premier impact de l'hélice sur la piste. Il est possible qu'un trim de profondeur réglé légèrement à piquer par rapport au standard (puisque la vitesse est légèrement forte en courte finale) ait contribué à ces assiettes faibles à l'arrondi et lors du premier rebond.

De même, lors des rebonds suivants, l'appareil n'est probablement pas assez soutenu à la profondeur pour conserver une assiette positive, au besoin en appliquant de la puissance (« filet de gaz »). Les touchers se produisent donc également nez bas et il apparaît une amplification des oscillations longitudinales.

Synthèse du chapitre 2.1 :

Aucune anomalie de fonctionnement de l'appareil n'a été rapportée par l'équipage ni identifiée au cours de l'enquête.

Les conditions météorologiques (plafond, visibilité) sont compatibles avec l'arrivée IFR réalisée.

La composante de vent traversier rafale comprise est inférieure de 10 kt à la limitation CEAM.

La configuration de l'appareil à l'atterrissage est nominale.

Sa vitesse en finale est nominale compte-tenu des conditions de vent annoncées.

La vitesse à la réduction moteur est légèrement forte (+ 5 kt) et l'arrondi n'est pas assez soutenu, ce qui a induit une vitesse au premier toucher supérieure de 15 à 20 kt à la vitesse préconisée et donc un poser type 3 points. Ceci a certainement contribué au premier rebond.

Lors de ce rebond, l'assiette n'a probablement pas été suffisamment bloquée « nez haut ». Le deuxième toucher se produit donc nez bas, ce qui provoque l'impact de l'hélice avec le sol compte-tenu de la faible garde.

2.2. Analyse des causes relevant des facteurs humains

Cette analyse s'attachera à apporter une meilleure compréhension des points suivants :

- manque de pilotage de l'arrondi
- non-rattrapage du premier rebond

2.2.1. Analyse des défaillances actives

Les erreurs menant à l'incident relèvent d'un manque de technicité (erreurs fondées sur les habiletés) lors de la phase d'arrondi et lors du premier rebond.

L'hélice est endommagée dès le deuxième toucher puis les rebonds suivants deviennent rapidement très difficiles à contrôler.

Différents indices révèlent un manque d'aisance du pilote lorsque l'appareil est en finale : il est préoccupé par le vent de travers qui va être subi lors de l'arrondi.

Ce manque d'aisance a pu participer :

- à l'adoption d'une vitesse légèrement forte en courte finale, par surcompensation des effets du vent
- à la volonté de poser rapidement les roues, pour raccourcir la phase d'arrondi pendant laquelle le pilotage peut être délicat sur TBM700 (vulnérabilité à la rafale)

De la même façon, il est possible que ce manque d'aisance ait participé à l'absence de maintien du nez haut lors du premier rebond, maintien qui aurait alors prolongé cette phase de vol.

2.2.2. Conditions préalables aux défaillances actives

Entraînement - expérience récente

Le pilote a effectué en moyenne sur TBM 700 8 heures par mois depuis deux ans et demi et un peu moins de 5 heures par mois depuis le début de l'année 2013. L'expérience récente est supérieure à cette moyenne (10 heures effectuées en octobre 2013).

D'après les informations recueillies, le nombre d'heures de vol effectuées en 2013 par le pilote concerné (47 heures jusqu'à début novembre) est dans le bas de la fourchette moyenne des heures de vol annuelles effectuées sur TBM 700 par les pilotes du CEAM (70 à 80 heures/an).

Les vols TBM 700 au CEAM ont été interrompus pendant 2 mois, de mi-juillet à mi-septembre (indisponibilité avion).

Le pilote a effectué entre mi-septembre et début novembre au moins 3 vols en double-commande : vol de reprise, vol de carte VSV, vol de révision des manœuvres de sécurité (RMS) (dernier vol effectué 12 jours avant l'incident).

La problématique de cet incident est un manque de technicité à l'atterrissage par vent fort, qui peut être corrigé principalement en instruction et non uniquement en augmentant le nombre d'heures de vol en monopilote.

Néanmoins, le niveau d'entraînement du pilote, qui est dans la fourchette basse dans la population des pilotes TBM 700 du CEAM, a pu participer au manque d'aisance constaté.

Il convient de remarquer que la flotte TBM 700 au CEAM étant de 1 à 2 appareils (1 avion affecté, 1 avion partagé avec DGA/EV), les indisponibilités programmées ou non-programmées peuvent rapidement induire des périodes d'interruption des vols.

2.2.3. Influences organisationnelles

2.2.3.1. Formation pratique et composition des équipages des PN Chasse sur TBM 700 au CEAM

Le programme de transformation des PN chasse sur TBM 700 est décrit au chapitre 1.17.1. Il comprend un minimum de 6 vols pour accéder à la qualification machine puis 6 vols pour accéder à la qualification CDB. Le pilote concerné a effectué 18 vols avant l'obtention de la qualification CDB. Les vols supplémentaires ont été axés sur les procédures AMV et le travail en ligne.

Il est possible que le cumul des 2 points suivants :

- une formation réduite en terme de tenue machine, axée sur le travail en IFR ;
- une utilisation en mono-pilote ;

ait empêché une phase nécessaire de murissement du pilote en ce qui concerne la phase d'atterrissage (rencontre de différentes conditions de vent avec un « sachant » à bord, susceptible de consolider l'apprentissage de la bonne technicité).

2.2.3.2. Instruction pratique aux manœuvres appropriées en cas de fort vent de travers

L'item « *atterrissage par vent de travers (suivant les conditions)* » figure dans la fiche récapitulative du programme de qualification et dans les objectifs pédagogiques du vol de tenue machine n°1 (PIC édition 2008).

Aucune mention ne figure cependant dans les comptes rendus des exercices effectivement réalisés par le pilote lors de sa qualification machine.

De manière générale, lors d'une qualification machine, l'instruction aux manœuvres appropriées à l'atterrissage en cas de fort vent de travers (à priori nécessaire jusqu'à une composante travers proche de la limitation prévue) peut être compromise si les conditions de vent ne peuvent être rencontrées.

Il est ici possible, à fortiori lors d'une qualification de durée réduite, que le pilote n'ait pu acquérir une technicité de niveau suffisant à l'issue de cette qualification.

Les vols en double-commande de tenue machine effectués depuis cette qualification ont pu cependant permettre de compléter la formation, mais les conditions de vent rencontrées ont pu également ne pas être suffisantes.

Les programmes d'instruction pratique à la qualification machine et/ou de maintien de qualification pourrait être amendé par des exercices d'atterrissage par vent fort, en nombre à définir, avec des conditions de vent minimum à définir (de face, de travers).

2.2.3.3. Atterrissage par fort vent sur TBM 700 - Support documentaire procédural

L'ensemble des pilotes de la défense consultés lors de cette enquête a mis en évidence la particularité (ils expriment une « difficulté », parlent d'un avion « délicat à poser ») rencontrée lors de l'arrondi sur TBM 700 par fort vent et par vent de travers, principalement à cause d'un fort effet de sol induit par une aile basse avec une surface de volets relativement importante en position LDG. Cette « difficulté » concerne le contrôle en tangage lors de l'arrondi et également le contrôle en roulis en cas de fort vent de travers. Notamment, la sensation aux palonniers lors du décrochage est particulière (palonnier « dur ») étant donnée la conception de la chaîne de roulis (direction couplée).

La prise en compte de ces difficultés doit être effectuée principalement en vol (en instruction) mais il apparaît que le support procédural écrit est pauvre : il y a en fait un décalage entre la difficulté rapportée par les équipages et le manque de support procédural écrit, qui pourrait être notamment utilisé lors des briefings d'utilisation avion.

Un support procédural consolidé permettrait de statuer sur la méthode préconisée et de rappeler les points critiques (notamment la technique de rattrapage des rebonds).

2.2.3.4. Difficulté d'instruction pratique aux manœuvres appropriées en cas de rebond à l'atterrissage

Il n'est pas envisageable d'instruire volontairement en vol la technique de rattrapage de rebond. Si un rebond se produit effectivement en vol en double-commande avec un instructeur, celui-ci sera souvent amené à reprendre les commandes mais pourra alors démontrer la technique appropriée.

2.2.3.5. Profil du pilote

Le pilote concerné vole uniquement sur TBM 700 depuis 2 années et demie. L'hypothèse que le passage d'un type d'appareil (Rafale, M2000 au CEAM) à un autre (TBM 700) avec des techniques de poser différentes (gestuelle, références visuelles, prise en compte des effets du vent, etc.) puisse avoir participé à l'incident n'est pas retenue.

Synthèse du chapitre 2.2 :

L'incident a pour origine un manque de technicité à l'atterrissage par vent fort, en particulier pour ce qui concerne le pilotage de l'arrondi et la technique de rattrapage de rebond. Ce manque de technicité est probablement à l'origine du manque d'aisance qui transparait lorsque l'appareil est en finale.

Ce manque de technicité et d'aisance a pour cause :

- le cumul d'une formation réduite en terme de tenue machine et d'utilisation en mono-pilote, ce qui a empêché un murissement en ligne du pilote ;
- le manque de support procédural concernant l'atterrissage par fort vent et la technique de rattrapage de rebond ;
- le caractère aléatoire de l'instruction pratique à l'atterrissage par fort vent ;
- l'impossibilité d'instruire en pratique et volontairement à la technique de rattrapage de rebond.

Le niveau d'entraînement du pilote dans l'année précédant l'incident, qui est dans la fourchette basse dans la population des pilotes TBM 700 du CEAM, a pu participer au manque d'aisance constaté.

3. CONCLUSION

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

Le lundi 4 novembre 2013 vers 11h, l'avion se présente à l'atterrissage sur l'axe ILS piste 23 de l'aéroport de Strasbourg Entzheim.

L'équipage est composé d'un pilote CDB origine chasse (3 050 heures dont 250 sur TBM 700) et d'un NOSA ayant reçu une instruction sur le système G1000. Trois passagers sont à bord.

Les conditions météorologiques à Strasbourg sont VMC. L'équipage acquiert le visuel du terrain dès la sortie de la couche nuageuse vers 4 000 ft, 10 minutes avant l'atterrissage.

Le vent au sol est du 190° pour 14 à 23 kt. La composante de vent traversier de travers rafale comprise est inférieure de 10 kt à la limitation CEAM.

La vitesse en finale est nominale compte-tenu des conditions de vent annoncées.

L'appareil se présente à l'arrondi dans la configuration prévue (volets LDG, PA et Yaw damper coupés).

La vitesse à la réduction moteur est légèrement forte (+ 5 kt). L'arrondi n'est pas assez soutenu, ce qui induit une vitesse au premier toucher supérieure de 15 à 20 kt à la vitesse préconisée et donc un poser type 3 points. Ceci a certainement contribué au premier des trois rebonds.

Lors de ce rebond, l'assiette n'a probablement pas été suffisamment bloquée « nez haut ». Le deuxième toucher se produit donc nez bas, ce qui provoque l'impact de l'hélice avec le sol compte-tenu de la faible garde.

Par réaction au niveau des trains, l'appareil rebondit encore puis retombe de nouveau nez bas. Le train auxiliaire est endommagé lors de ce troisième toucher puis lors du dernier impact avec le sol. Il y a lors de ces 3 rebonds une amplification des oscillations longitudinales.

Les personnes à bord évacuent indemnes.

Aucune anomalie de fonctionnement de l'appareil n'a été rapportée par l'équipage ni identifiée au cours de l'enquête.

3.2. Causes de l'événement

L'incident a pour origine un manque de technicité à l'atterrissage par vent fort, en particulier pour ce qui concerne le pilotage de l'arrondi et la technique de rattrapage de rebond. Ce manque de technicité est probablement à l'origine du manque d'aisance qui transparait lorsque l'appareil est en finale.

Ce manque de technicité et d'aisance a pour cause :

- le cumul d'une formation réduite en terme de tenue machine et d'utilisation en monopilote, ce qui a empêché un murissement en ligne du pilote
- le manque de support procédural concernant l'atterrissage par fort vent et la technique de rattrapage de rebond
- le caractère aléatoire de l'instruction pratique à l'atterrissage par fort vent
- l'impossibilité d'instruire en pratique et volontairement à la technique de rattrapage de rebond.

Le niveau d'entraînement du pilote dans l'année précédant l'incident, qui est dans la fourchette basse dans la population des pilotes TBM 700 du CEAM, a pu participer au manque d'aisance constaté.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

Le poser sur TBM 700 se caractérise par la présence d'un fort effet de sol (appareil à aile basse avec une surface de volets relativement importante en position LDG), qui nécessite une technicité particulière lors de la phase d'arrondi, surtout en cas de fort vent et de vent de travers.

Le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air, de compléter les référentiels d'instruction et d'emploi TBM 700 (CFA et CEAM) pour ce qui concerne d'une part, le risque d'occurrence d'un rebond à l'atterrissage et d'autre part, les techniques de rattrapage si un rebond se produit.

Le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air, d'assurer une information régulière des équipages sur les risques et les méthodes liés à l'atterrissage sur TBM 700 (briefings utilisation avion, etc.).

Le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air, d'adapter les limitations d'emploi d'atterrissage par vent de travers du TBM 700 à l'expérience acquise par les membres de l'équipage au pilotage de cet avion.

Le CEAM encadre l'activité sur TBM 700 avec ses propres textes de base (principalement les CPMRA CEAM). L'instruction pratique sur TBM 700 est entièrement effectuée en interne.

Il serait sans doute bénéfique pour la sécurité des vols que des rapprochements aient lieu dans le domaine entre le CEAM et le CFA : harmonisation des séances d'entraînement en tour de piste (périodicité et contenu) et des méthodes d'instruction, échanges d'expériences, évolutions parallèles des méthodes et programmes d'instruction, etc.

Le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air, de mettre en place des rapprochements entre le CEAM et le CFA pour l'instruction et le maintien de qualification sur TBM 700.

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

L'ensemble des pilotes consultés lors de l'enquête témoignent de la particularité, voire de la difficulté, de pilotage lors de la phase d'arrondi par vent fort sur TBM 700. Il a été constaté que les stratégies mises en place par les organismes défense face à cette difficulté est différente concernant la configuration des volets à l'atterrissage :

- la configuration volets TO est utilisée par les équipages DGA/EV et ALAT lors de l'atterrissage par fort vent, l'effet de sol étant alors diminué ;
- cette configuration n'est pas prévue dans les procédures de l'armée de l'air, bien que pratiquée parfois lorsque de très fortes turbulences sont rencontrées en finale.

Le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

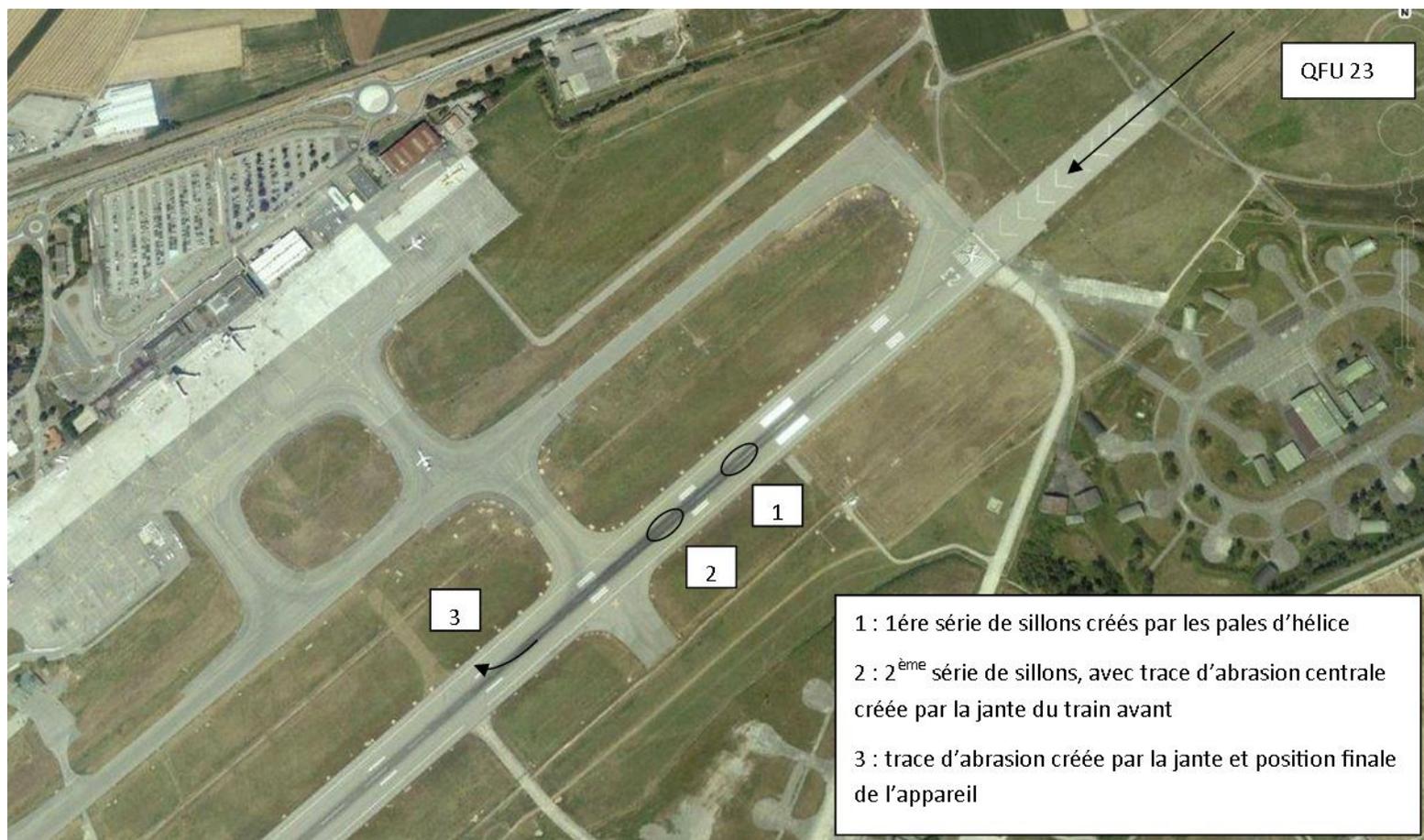
à l'armée de l'air, à l'ALAT, à DGA/EV, d'effectuer une analyse du risque visant à statuer sur la configuration des volets à l'atterrissage par fort vent sur TBM 700. A cette fin, des échanges d'expériences pourraient avoir lieu entre les utilisateurs défense et le constructeur.

ANNEXES

ANNEXE 1 Positionnement des traces relevées sur la piste.....	34
ANNEXE 2 Evolution des paramètres à l'atterrissage.....	35

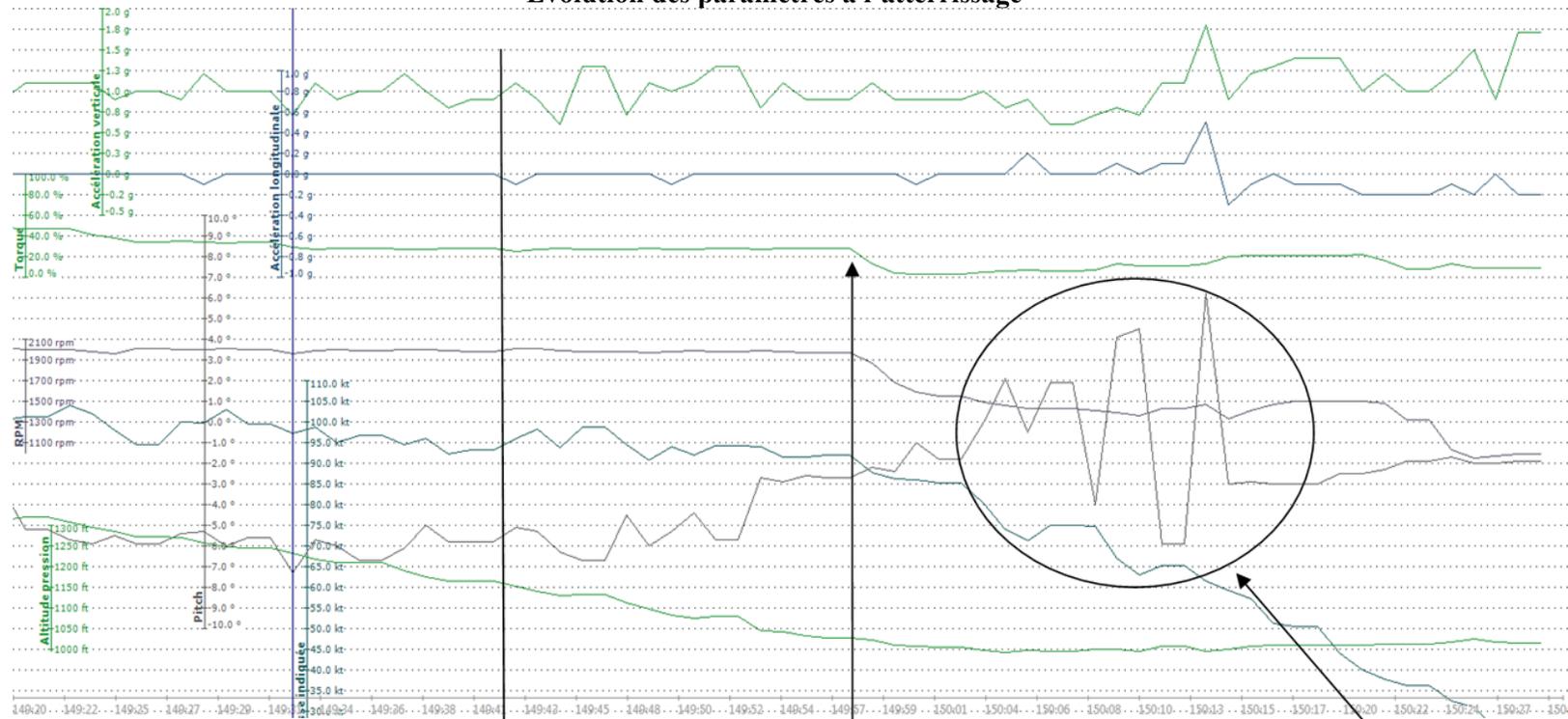
ANNEXE 1

Positionnement des traces relevées sur la piste



ANNEXE 2

Evolution des paramètres à l'atterrissage



Paramètres, de haut en bas : accélération verticale, accél. longitudinale, couple moteur, régime hélice, vitesse, assiette, altitude pression

Réduction moteur précédant l'arrondi

Oscillations longitudinales