Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État

Rapport d'enquête de sécurité

T-2021-05-I

Date de l'évènement	12 mars 2021
Lieu	Le Luc Le Cannet (Var)
Type d'appareil	TBM 700
Organisme	Armée de Terre

BEA-É

AVERTISSEMENT

UTILISATION DU RAPPORT

Conformément à l'article L.1621-3 du code des transports, 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 aux engagements internationaux de la France, à l'esprit des lois et des règlements et relève de la seule responsabilité de son utilisateur.

COMPOSITION DU RAPPORT

Les faits, utiles à la compréhension de l'évènement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'identification et l'analyse des causes de l'évènement font l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes retenues.
Le BEA-É formule ses recommandations de sécurité dans le quatrième et dernier chapitre.

Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure légale française.

CRÉDITS

	Armée de Terre	Page de garde
Figure 1	*Google Earth*	8
Figure 2	Direction de la circulation aérienne militaire	12
Figures 3 à 5	BEA-É	13 et 14
Figure 6	BEA-É et *Google Earth*	14
Figure 7	BEA-É	14
Figures 8 et 9	Service technique de l'aviation civile	16 et 17
Figure 10	25e RGA et BEA-É	20
Figure 11	RESEDA et BEA-É	22
Figure 12	25e RGA et BEA-É	23
Figures 13 à 16	Daher	29 et 37

TABLE DES MATIÈRES

GLOSSAIRE 4
SYNOPSIS 5
1. Renseignements de base 7
1.1. Déroulement du vol 7
1.2. Dommages corporels 8
1.3. Dommages à l'aéronef 9
1.4. Autres dommages 9
1.5. Renseignements sur l'équipage 9
1.6. Renseignements sur l'aéronef 10
1.7. Conditions météorologiques 11
1.8. Aides à la navigation 11
1.9. Télécommunications 11
1.10. Renseignements sur l'aéroport 11
1.11. Enregistreurs de bord 12
1.12. Constatations sur l'aéronef et sur la zone de l'incident 12
1.13. Renseignements médicaux 15
1.14. Incendie 15
1.15. Questions relatives à l'organisation des secours 15
1.16. Essais et recherches 15
1.17. Renseignements sur les organismes 15
1.18. Renseignements divers 15
2. Analyse 19
2.1. Expertises techniques 19
2.2. Séquence de l'évènement 22
2.3. Recherche des causes de l'évènement 22
32
3. Conclusion 33
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement 33
3.2. Causes de l'évènement 33
4. Recommandations de sécurité 35
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement 35
4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement 36
ANNEXE 1 Amortisseur du train d'atterrissage auxiliaire 37
ANNEXE 2 Détail des observations émises par Daher n'ayant pas fait l'objet de modification du rapport ... 39
ANNEXE 3 Réponse du BEA-É aux observations émises par Daher 43

GLOSSAIRE

CDB	Commandant de bord
COMALAT	Commandant de l'aviation légère de l'armée de Terre
DAAT	Détachement avions de l'armée de Terre
DGA	Direction générale de l'armement
DIRCAM	Direction de la circulation aérienne militaire
EAAT	Escadrille avions de l'armée de Terre
ft	*Feet* – pieds (1 pied vaut 30,48 cm)
IFR	*Instrument flight rules* – règles de vol aux instruments
IS	Indice de service
kt	*Knots* – nœuds (1 noeud vaut 1,852 km/h)
m	Mètres
PF	*Pilot flying* – pilote en fonction
POH	*Pilot's operating handbook* – manuel de vol
RESEDA	Restitution des enregistreurs d'accidents
SID	Service d'infrastructure de la défense
TA	Train auxiliaire
VFR	*Visual flight rules* – règles de vol à vue

SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 12 mars 2021 à 15h35
Lieu de l'évènement : aérodrome de Le Luc Le Cannet (LFMC)
Organisme : armée de Terre
Commandement organique : commandement de l'aviation légère de l'armée de Terre (COMALAT)
Unité : escadrille avions de l'armée de Terre (EAAT)
Aéronef : TBM 700 immatriculé F-MABS
Nature du vol : liaison – aide au commandement
Nombre de personnes à bord : 3

Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

Le vendredi 12 mars 2021, le TBM 700 n° 139 réalise une mission d'aide au commandement (transport de passager) de l'aéroport de Biarritz Pays Basque (LFBZ) vers l'aérodrome de Le Luc Le Cannet.
Le TBM 700 se présente en finale pour un atterrissage en piste 27. Immédiatement après le toucher des roues, lors de la phase de roulement à l'atterrissage, l'avion entre en oscillation autour de son axe de tangage. L'équipage distingue une éphémère volute de fumée à l'avant de l'appareil et les oscillations s'arrêtent. Les paramètres de conduite du moteur et de pilotage sont normaux. Après l'atterrissage, l'avion dégage la piste et roule vers le parking.
Au cours de la visite consécutive au vol, l'équipage constate l'abrasion de l'extrémité des quatre pales de l'hélice.

Composition du groupe d'enquête de sécurité

- un directeur d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État (BEA-É) ;
- un enquêteur technique (BEA-É) ;
- un enquêteur de première information ;
- un pilote ayant une expertise sur TBM 700 ;
- un mécanicien ayant une expertise sur TBM 700 ;
- un médecin breveté supérieur de médecine aéronautique.

Autres experts consultés

- direction générale de l'armement (DGA) - Essais propulseurs/Restitution des enregistreurs d'accidents (RESEDA) ;
- DGA - Techniques aéronautiques (DGA TA)/division d'investigations suite à accident ou incident ;
- 25e régiment du génie de l'Air ;
- centre référent des installations aéroportuaires (CRA) du service d'infrastructure de la Défense (SID).

PAS DE TEXTE

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Type de vol : circulation aérienne générale – IFR puis VFR
Type de mission : aide au commandement
Dernier point de départ : aéroport de Biarritz Pays Basque
Heure de départ : 14h15
Point d'atterrissage prévu : aérodrome de Le Luc Le Cannet

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Contexte

Le vol s'inscrit dans le cadre d'une mission d'aide au commandement ordonnée par le bureau « activité » du COMALAT. La mission, planifiée dès la semaine précédant le vol, a pour objectif le transport d'un cadre de l'armée de Terre de Biarritz Pays Basque à Le Luc Le Cannet. L'équipage initialement désigné étant déclaré indisponible, la veille pour le pilote et le matin même pour le commandant de bord (CDB), la mission est confiée à un autre équipage. Le pilote en place gauche est le pilote en fonction (PF) pendant la durée de ce vol. Le CDB est en place droite.

1.1.2.2. Préparation du vol

Le pilote nouvellement désigné prépare la mission la veille. Elle consiste en une mise en place de Rennes à Biarritz Pays Basque, suivie du vol de Biarritz Pays Basque à Le Luc Le Cannet, puis un retour vers Rennes.
La préparation du vol est réalisée par la cellule de préparation de missions de l'escadrille avions de l'armée de Terre (EAAT), qui fournit à l'équipage un dossier de mission (*briefing pack*) comprenant la préparation de la navigation sur l'ensemble du parcours, les performances et le centrage prévus, le dossier météorologique et les informations et autorisations nécessaires à la mission (plan de vol, avitaillement, ouvertures de terrain).
L'actualisation des données de vol et météorologiques est réalisée au cours du briefing d'équipage (pilote et CDB) avant le départ de Rennes.
Dans la matinée, l'avion fait l'objet d'une maintenance sur le moteur puis est préparé pour le vol.
Le décollage a lieu à 12h03, conformément à l'ordre de vol. Après l'arrivée à Biarritz Pays Basque à 13h19, l'équipage prépare le vol suivant vers Le Luc Le Cannet, pour un décollage prévu à 14h00 avec le passager. La quantité de carburant restante ne nécessite pas d'avitaillement à Biarritz Pays Basque.

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

Le TBM 700 décolle à 14h15 de l'aéroport de Biarritz Pays Basque en IFR avec un passager à bord. La croisière se déroule normalement au niveau de vol (FL) 250[1] puis 270.
Avant de débuter la descente, l'équipage effectue un briefing incluant la description de la procédure et la trajectoire d'arrivée, le choix de la piste et l'étude de l'atterrissage en piste 27 en tenant compte des conditions particulières de vent et de longueur de piste. Il envisage le cas de la remise de gaz et le terrain de déroutement en cas de difficulté à atterrir.
Passant 5 000 pieds (ft) en descente, en vue des installations de Le Luc Le Cannet et en VMC[2], en application du manuel d'exploitation de l'aérodrome, le CDB annule le plan de vol IFR et le vol est poursuivi sous plan de vol VFR. La masse d'air est turbulente et les effets liés à cette aérologie sont rencontrés durant toute la phase de descente et d'approche, jusqu'à l'atterrissage.
Compte tenu du vent annoncé par le contrôleur d'approche de Le Luc, soufflant du 280° de 25 à 30 nœuds (kt), et de la possibilité de choisir la piste d'atterrissage[3] en l'absence de trafic dans le circuit de piste, l'analyse des performances et limitations d'exploitation conduisent l'équipage à demander à atterrir en piste 27.

---

1 *Flight level*. 25 000 pieds puis 27 000 pieds au calage standard 1 013 hectopascals.
2 *Visual meteorological conditions* - conditions de vol à vue.
3 L'aérodrome de Le Luc Le Cannet dispose de deux pistes croisées : 13/31 et 09/27.

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

En sortie de dernier virage pour la piste 27, le pilote en fonction ajuste le plan de descente et commande la sortie des volets vers la position atterrissage. La vitesse de 90 kt, retenue pour la finale stabilisée, est affichée à partir de 380 ft avant l'atterrissage.
Afin de ménager une longueur de piste la plus importante possible, le pilote choisit le point d'aboutissement sur les marques au début de la piste.

Figure 1 : trajectoire d'atterrissage

En autorisant l'atterrissage, le contrôleur annonce un vent du 270° pour 18 kt avec des rafales à 27 kt.
L'aéronef prend contact avec le sol à la croisée des pistes, 105 mètres (m) après le seuil. À ce moment, le pilote perçoit un abaissement non commandé du nez de l'avion. Des oscillations de l'avion en tangage sont immédiatement ressenties par l'équipage et aperçues par des témoins présents à la tour de contrôle.
Le CDB vérifie visuellement que les oscillations ne sont pas dues à l'action du pilote sur les commandes de vol et place dans le même temps ses deux mains devant le volant afin d'empêcher qu'il se déplace vers l'avant et de vérifier physiquement son ressenti visuel. Après quelques oscillations, une volute de fumée apparaît momentanément à l'avant de l'appareil et la trajectoire se stabilise au sol. L'équipage applique la procédure de décélération. Les paramètres sont vérifiés et normaux.
Le PF fait demi-tour, remonte la piste et rejoint le parking au pied de la tour. L'équipage évoque alors un poser « trois points » (sur les trois trains simultanément).
La visite consécutive au vol met en évidence l'abrasion des quatre pales de l'hélice.

1.1.3. Localisation

- Lieu :
  - pays : France
  - département : Var
  - commune : Le Cannet des Maures
  - coordonnées géographiques : N 43°23'05"/E 006°23'13"
  - hauteur du lieu de l'évènement : au sol
- Moment : jour

1.2. Dommages corporels

Les trois occupants de l'avion sont indemnes.

1.3. Dommages à l'aéronef

L'aéronef est légèrement endommagé.

1.4. Autres dommages

La piste est marquée par cinq impacts de l'hélice de quelques millimètres de profondeur.

1.5. Renseignements sur l'équipage

1.5.1. Commandant de bord

- Âge : 36 ans
- Unité d'affectation : EAAT
- Formations :
  - qualification : pilote commandant de bord
  - école de spécialisation : école nationale de l'aviation civile
- CPL (A)[4] délivrée le 11 avril 2014 - IR[5] prorogée le 30 septembre 2020
- Qualification de classe : SET[6] délivrée en 2014, prorogée le 30 septembre 2020, valide jusqu'au 30 septembre 2022
- Expérience comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont TBM 700	sur tout type	dont TBM 700	sur tout type	dont TBM 700
Heures de vol	2 899	2 213	204	204	46	46
Nombre d'atterrissages	2 119	1 858	160	160	34	34

- Date du précédent vol sur l'aéronef : le jour même

1.5.2. Pilote

- Âge : 38 ans
- Unité d'affectation : EAAT
- Formations :
  - qualification : pilote commandant de bord
  - école de spécialisation : école nationale de l'aviation civile
- CPL (A) délivrée le 5 décembre 2016 - IR prorogée le 14 octobre 2020
- Qualification de classe : SET délivrée en 2017, prorogée le 14 octobre 2020, valide jusqu'au 31 octobre 2022
- Expérience comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont TBM 700	sur tout type	dont TBM 700	sur tout type	dont TBM 700
Heures de vol	1 844	1 152	191	191	26	26
Nombre d'atterrissages	1 416	1 102	143	143	38	38

- Date du précédent vol sur l'aéronef : le jour même

[4] *Commercial pilot licence (aeroplane)* - licence de pilote professionnel (avion).
[5] *Instruments rating* - qualification de vol aux instruments.
[6] *Single engine turbine* - monoturbine.

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de Terre
- Commandement d'appartenance : COMALAT
- Aérodrome de stationnement : Rennes Saint Jacques (LFRN)
- Unité d'affectation : DAAT/EAAT
- Type d'aéronef : TBM 700 version A

	Type-série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis visite A1[7] le 25/06/2020	Heures de vol depuis visite B le 05/02/2021
Cellule	TBM 700A	139	9 429	255	52
Moteur	PT6A-64	111073	1 585	255	52
Hélice	HC-E4N-3	HH4901	52	/	52

	Type-série	Numéro	Nombre d'atterrissages depuis pose le 28/08/2019 (neuf)	Nombre d'atterrissages depuis maintenance le 17/06/2020	Nombre d'atterrissages depuis dernière maintenance le 05/02/2021
Atterrisseur avant	6053907244	17AR18743	408	231	52

1.6.1. Maintenance

L'examen de la documentation indique que la maintenance est réalisée conformément aux directives et périodicités de maintenance définies par le détenteur du certificat de type et aux règles de maintien de navigabilité.
La documentation technique officielle est renseignée. Seule l'information relative à l'hélice avionnée n'est pas renseignée. Elle aurait dû être reportée dans le tableau des équipements, organes et accessoires, document propre à l'escadrille fournissant la synthèse des informations consignées dans l'ensemble de la documentation. Les autres livrets et la documentation informatique mentionnent toutefois le changement d'hélice réalisé.

1.6.2. Performances

Les performances calculées pour la configuration de l'aéronef et les conditions météorologiques du jour sont compatibles avec la mission et avec la phase d'atterrissage en piste 27 à Le Luc Le Cannet.
La distance nécessaire à l'atterrissage (LDR[8]) est calculée à 593 m pour une distance d'atterrissage disponible de 759 m selon les normes opérationnelles de l'ALAT sur ce terrain (95% de la longueur disponible pour l'atterrissage).

1.6.3. Masse et centrage

Au décollage comme au moment de l'évènement, la masse et le centrage sont dans le domaine d'emploi de l'aéronef.

	Masse	Centrage
Décollage	2 800 kg	25,41%
Atterrissage	2 539 kg	25,10%

[7] Les visites A1 et B sont prévues par le plan d'entretien de l'aéronef selon une fréquence annuelle. Le contenu des visites de maintenance est différencié selon les opérations à effectuer.
[8] *Landing distance required* - distance d'atterrissage requise à partir du passage des 50 ft.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F-34
- Quantité de carburant au décollage : 190 gal US[9]
- Quantité de carburant au moment de l'évènement : 103 gal US

1.6.5. Autres fluides

- Huile de l'amortisseur du train auxiliaire : H-515
- Huile moteur : O-156

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

L'aérodrome de Le Luc Le Cannet ne publie pas de prévision météorologique (TAF[10]). Les prévisions zonales de Météo-France prévoient des turbulences modérées à fortes dans la zone de Le Luc Le Cannet et un vent soufflant du secteur ouest de 20 à 30 kt.

1.7.2. Observations

Les informations disponibles pour le contrôleur aérien, transmises à l'équipage sont :

- avant l'approche, sur demande de l'équipage à 15h11 :
  - vent : 280° - 21 kt - variable du 250° au 300° - rafales à 29 kt ;
  - QNH : 1 013 hPa ;
  - pas de nuage significatif sur la période ;
- lors de l'autorisation d'atterrissage à 15h33 :
  - vent : 270° - 18 kt rafales à 27 kt.

À 15h35 au moment de l'atterrissage, le vent varie du 260° au 300° à 21 kt rafales à 32 kt.

1.8. Aides à la navigation

L'avion est équipé de deux VOR[11], deux récepteurs GPS[12], un pilote automatique, un radiocompas, deux transpondeurs, un radio-altimètre et un radar météorologique.
Les informations de conduite du vol et de l'aéronef sont présentées en tout écran. L'équipage peut visualiser notamment les trajectoires, les informations des terrains ainsi que la force et l'orientation du vent.

1.9. Télécommunications

L'avion est équipé de trois VHF[13]. L'équipage est en contact radio avec la tour de Le Luc Le Cannet lors de l'atterrissage.

1.10. Renseignements sur l'aéroport

La plateforme de Le Luc Le Cannet est un aérodrome militaire à usage restreint disposant de deux pistes croisées 13/31 et 09/27.
La piste 09/27 est autorisée aux avions d'État, à vue et de jour uniquement.
La fiche de l'aérodrome Le Luc Le Cannet du 3 décembre 2020 précise que la piste 09/27 est une piste de catégorie 1C[14].

---

9 Gal US : *gallon US* - gallon américain : 1 gal US vaut 3,785 litres.
10 *Terminal aerodrome forecast* - prévision météorologique d'aérodrome.
11 *VHF Omnidirectional Range* - système d'aide à la navigation aérienne.
12 *Global positionning system* - système de positionnement par satellites.
13 *Very High Frequency* - très haute fréquence.
14 Norme de l'aviation civile servant de référence à la catégorisation de la piste en fonction des dimensions de l'avion.

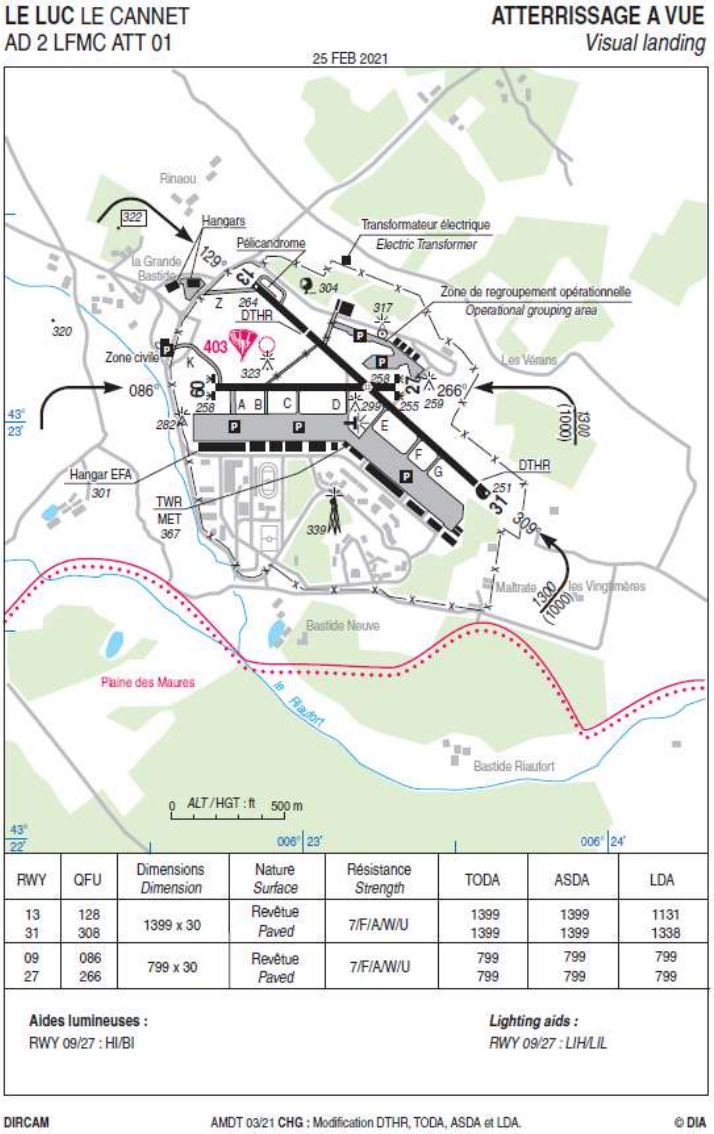

Figure 2 : carte d'atterrissage à vue de Le Luc Le Cannet

1.11. Enregistreurs de bord

Deux enregistreurs de vol sont présents à bord :

- le système avionique enregistrant les paramètres de vol ;
- un système dédié d'enregistrement des paramètres de vol et de voix.

Les données des enregistreurs ont pu être exploitées.

1.12. Constatations sur l'aéronef et sur la zone de l'incident

1.12.1. Examen de l'aéronef

L'extrémité des pales de l'hélice est abrasée sur deux à cinq millimètres.
La hauteur de la tige apparente et la pression de l'amortisseur du train auxiliaire sont relevées avec la quantité de carburant de 103 gallons à bord, selon les procédures du POH[15] et du manuel de maintenance MM 12-14-01 et 02. La hauteur est mesurée à 41 millimètres et la distance entre le sol et l'hélice est d'environ 180 millimètres. La pression des pneus est normale. La pression de l'amortisseur du train auxiliaire est mesurée à 4 bars. La pression de l'amortisseur et la hauteur de tige des atterrisseurs principaux sont quant à elles relevées à 11 bars et 67 millimètres à gauche et 11 bars et 77 millimètres à droite.

[15] *Pilot's operating handbook* - manuel de vol.

Figure 3 : extrémités des quatre pales de l'hélice

Figure 4 : hauteur de l'amortisseur de train auxiliaire - distance sol/hélice

1.12.2. Examen de la zone de contact

L'hélice a laissé cinq entailles d'une quinzaine de centimètres de longueur sur une profondeur de quelques millimètres dans le revêtement de la piste 27. Ces marques se trouvent à environ 35 m à l'ouest de la croisée des deux pistes.

Figure 5 : traces sur la piste

Sur la partie centrale de la piste dans les premiers mètres après la croisée de la piste 13/31, la piste 27 présente une discontinuité de pente.
La piste 27 étant très peu utilisée pour des atterrissages d'avion, l'examen du revêtement a permis d'identifier des traces de gomme de pneu correspondant à ceux du TBM 700 à partir de 105 m du seuil de piste, au niveau de la croisée des pistes. Ces traces indiquent que l'avion prend contact avec le sol initialement sur le train principal, puis, moins d'une seconde après celui-ci, avec le train auxiliaire dans la zone de la piste présentant des inégalités.

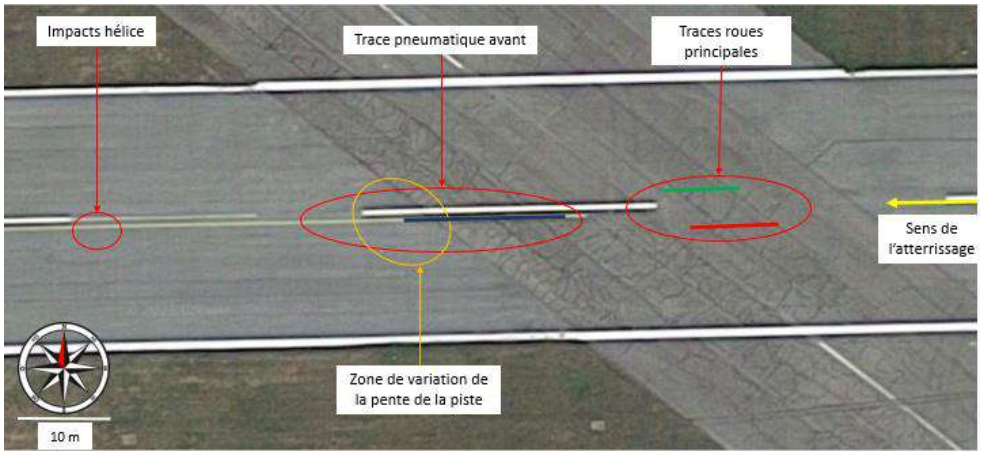

Figure 6 : relevés des traces à la croisée des pistes et des impacts de l'hélice

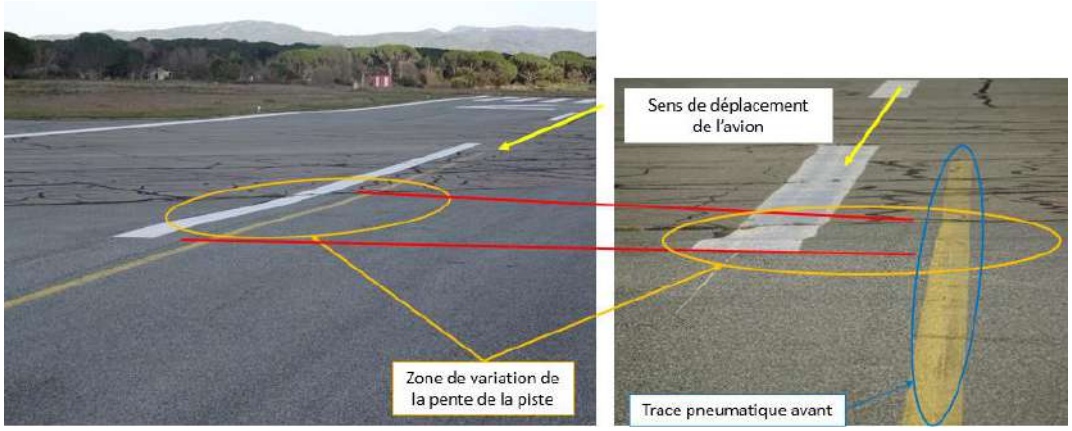

Figure 7 : constatations à la croisée des pistes

1.13. Renseignements médicaux

1.13.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical :
  - type : visite semestrielle en unité le 23 décembre 2020 (en référence à l'expertise de classe 1 du CEMPN[16] du 27 décembre 2019)
  - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués

1.13.2. Pilote

- Dernier examen médical :
  - type : visite semestrielle en unité le 6 janvier 2021 (en référence à l'expertise de classe 1 du CEMPN du 11 décembre 2019)
  - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués

1.14. Incendie

Sans objet.

1.15. Questions relatives à l'organisation des secours

Sans objet.

1.16. Essais et recherches

Les données des enregistreurs de vol sont expertisées par RESEDA.
L'expertise du train d'atterrissage auxiliaire est réalisée par DGA TA.
La piste 09/27 de l'aérodrome de Le Luc Le Cannet est expertisée par le 25e régiment du génie de l'Air.

1.17. Renseignements sur les organismes

Le détachement avions de l'armée de Terre (DAAT) est une unité de l'armée de Terre stationnée sur l'aéroport de Rennes Saint Jacques. Ce détachement est organisé autour d'une escadrille unique : l'escadrille avions de l'armée de Terre (EAAT).
L'activité du détachement et de son escadrille est entièrement tournée vers la mission d'aide au commandement, par l'exploitation d'une flotte de huit TBM 700 et l'affectation d'une vingtaine de pilotes pour le transport des autorités de l'armée de Terre.

1.18. Renseignements divers

1.18.1. Historique des pistes de l'aérodrome de Le Luc Le Cannet

Réalisée en 1968, la piste 09/27 a fait l'objet d'une réfection de l'enrobé en 2001. L'homologation initiale[17] des pistes pour le besoin des armées a été prononcée le 17 mai 2011 par le directeur de la circulation aérienne militaire[18]. Cette décision a fait l'objet d'une reconduction le 15 juin 2017, faisant suite à une visite de surveillance réalisée par la commission nationale d'expertise défense en février 2017.

---

[16] Centre d'expertise médicale du personnel navigant - Référence au règlement européen n° 1178/2011 du 3 novembre 2011 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables au personnel navigant de l'aviation civile.

[17] Homologation prenant en compte le référentiel réglementaire national de l'aviation civile, en supplément des spécificités défense décrites dans l'instruction n° 4450/DSAÉ/DIRCAM relative à l'infrastructure, aux équipements, aux procédures d'exploitation et de maintenance, aux conditions d'homologation et de surveillance des aérodromes de la défense du 6 février 2017.

[18] Autorité désignée dans l'instruction sus-citée.

1.18.2. Contrôles et entretiens des pistes

Les contrôles permettant d'informer le directeur d'aérodrome sur l'état des infrastructures et les travaux de maintien en condition permettant de garantir le niveau de performance sont réalisés par le SID dans le cadre du contrat de service local[19]. L'unité du SID stationnée sur l'aérodrome de Le Luc Le Cannet assure le maintien en condition opérationnelle et la surveillance nécessaire. Le contrat de service local prévoit le suivi de l'indice de service (cf. définition 1.18.3) tous les deux ans. Il est cependant réalisé tous les trois ans sur cet aérodrome, ce qui reste en accord avec les exigences de la DIRCAM[20].
Les travaux de maintenance lourde sont programmés et financés par l'autorité d'emploi, l'armée de Terre, et réalisés par le SID.

1.18.3. Critères nécessaires à l'homologation des chaussées aéronautiques

L'état d'une piste est donné par différents indicateurs reflétant leur qualité : l'adhérence fonctionnelle, la capacité de portance, l'indice de service (IS) et le contrôle de l'uni. Dans le cadre de l'analyse de l'évènement, une attention particulière est portée à l'indice de service et au contrôle de l'uni.

1.18.3.1. Indice de service

Basé sur l'analyse de relevés des dégradations (type, densité et gravité), l'indice de service est un indicateur numérique permettant d'apprécier le niveau de qualité d'une chaussée aéronautique. Cet indicateur représente la moyenne des dégradations observées. Il est élaboré par une méthode[21] définie par le service technique de l'aviation civile (STAC), reprise et imposée par la DIRCAM pour l'homologation des aérodromes des armées.

L'indice de service est caractérisé par un nombre compris entre 0 (chaussée hors service) et 100 (chaussée neuve). Un indice de service dit global caractérise la moyenne de l'état général. Il est complété de deux indices représentatifs suivants, élaborés de la même façon :
- l'IS superficiel : calculé à partir des dégradations révélant un défaut de surface (ensemble des dégradations autres que celles de structure) ;
- l'IS structurel : calculé à partir des dégradations de structures.

Trois seuils sont définis :
- le seuil critique, fixé à 65 pour les pistes et à 60 pour les autres aires, en deçà duquel la chaussée doit faire l'objet d'un suivi plus fréquent et d'un entretien au regard des contraintes de sécurité liées à son exploitation ;
- le seuil d'alarme, fixé à 50 pour les pistes et à 45 pour les autres aires, en deçà duquel la chaussée doit faire l'objet d'une auscultation lourde pouvant conduire à un renforcement ;
- le seuil limite de réfection, fixé à 30 pour toutes les aires, en deçà duquel la chaussée présente un risque important pour la sécurité des aéronefs et nécessite une reconstruction.

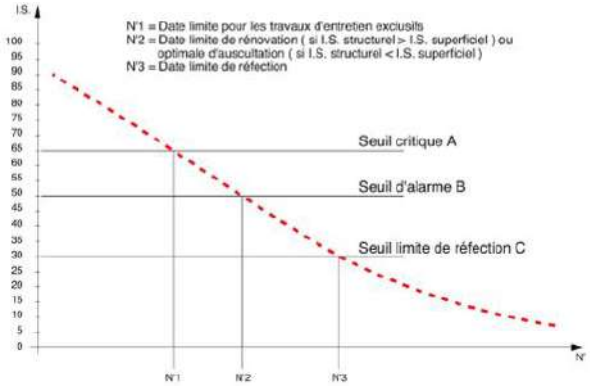

Figure 8 : courbe de l'évolution propre de l'indice de service d'une piste

[19] Contrat de service local entre l'USID et l'aérodrome : n° 502964/DEF/EALAT/BEGL et n° 500479/SID/ESID-LYON/USID DGN/CDT du 29 mai 2017.

[20] Direction de la circulation aérienne militaire.

[21] Méthode indice de service - guide méthodologique édition juin 2003 et son complément « catalogue des dégradations » de 2007.

La DIRCAM impose une fréquence de relevés au plus tard tous les trois ans[22]. Cependant, il convient de réduire les périodes de relevés dès qu'apparaît une accentuation du processus de dégradation, lié à l'emploi ou à des conditions environnementales particulières (chaleurs, pluies, neige, etc.).

1.18.3.2. Uni

L'uni est caractérisé par l'ensemble des dénivellations d'une surface de chaussée susceptibles de perturber le mouvement des véhicules. Le contrôle de l'uni consiste à vérifier l'ensemble des ondulations de la surface de la piste. Il est normalement réalisé à l'issue d'opérations de maintenance lourde telles que la réfection de l'enrobé de piste.

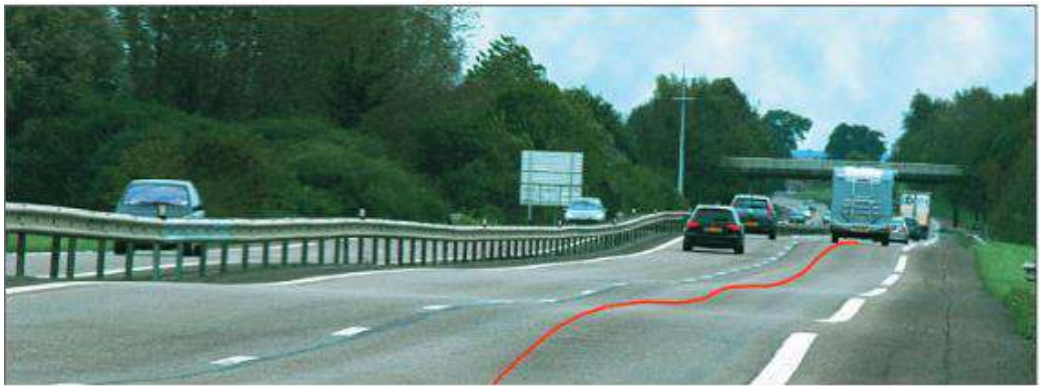

Figure 9 : exemple d'uni déformé

Les conséquences d'un uni dégradé peuvent être :

- la fatigue des structures de l'aéronef, des amortisseurs, etc. ;
- des difficultés de pilotage : vibrations, lecture des instruments, etc. ;
- des difficultés de freinage ;
- une mise en résonnance des atterrisseurs : perte de contact pneu/chaussée ;
- l'inconfort des passagers ;
- une surcharge dynamique : accélération de l'usure des chaussées ;
- une mauvaise évacuation des contaminants liquides.

Le STAC recommande de faire un essai avant travaux et après travaux lourds (rénovation, réfection) pour la réception des ouvrages. Il n'y pas d'essai d'uni après un entretien léger.

[22] En application de l'instruction n° 4450/DSAÉ/DIRCAM relative à l'infrastructure, aux équipements, aux procédures d'exploitation et de maintenance, aux conditions d'homologation et de surveillance des aérodromes de la défense du 6 février 2017.

PAS DE TEXTE

2. ANALYSE

2.1. Expertises techniques

2.1.1. Carburant et huiles

Les résultats des analyses du carburant, de l'huile moteur et de l'huile hydraulique des trains d'atterrissage correspondent aux types de produits attendus. Les résultats ne manifestent pas d'usure anormale des ensembles mécaniques du moteur et des trains d'atterrissage.

Les analyses spectrométriques réalisées sur les prélèvements d'huile moteur et de fluide hydraulique ne traduisent aucun signe d'usure anormale des trains d'atterrissage et du moteur.

2.1.2. Train d'atterrissage auxiliaire

Le train d'atterrissage auxiliaire est retrouvé avec une hauteur de piston d'amortisseur insuffisante (41 millimètres pour un minimum de 57 millimètres indiqué dans le POH), associée à une pression d'azote insuffisante : 4 bars au lieu de 5,7 bars dans la chambre d'amortisseur selon le manuel de maintenance et le POH. Il est donc sous gonflé de 1,7 bars. Après avoir remis en conformité sa pression, l'amortisseur se détend de 28 millimètres, faisant augmenter la distance hélice-sol au-dessus de la mesure minimale préconisée par la documentation.
Par comparaison, les relevés de pression et de hauteur de tige sur chaque train principal donnent des valeurs normales.
Le train d'atterrissage auxiliaire ne présente pas de défaut ou de marquage pouvant indiquer une dégradation.
Les tests de tenue de la pression n'ont pas mis en évidence de fuite d'azote ni de fuite de fluide hydraulique et la pression de gonflage reste stable.
Lors du démontage, l'examen des pièces du train d'atterrissage ne révèle pas de détérioration, ni de marquage ou d'usure anormale. Un test de la valve de gonflage n'a pas mis en évidence de fuite.

Le train d'atterrissage auxiliaire ne présente pas d'anomalie, de témoignage d'usure ni de marquage. Aucun défaut de tenue de la pression de gonflage ni de tenue à l'effort n'a été identifié.
La pression de gonflage et la hauteur de tige de l'amortisseur de train auxiliaire sont insuffisants.

2.1.3. État de la piste 09/27

Deux critères d'évaluation de la piste intéressent l'enquête : l'indice de service, qui témoigne de l'usure et de l'état de la piste et le relevé de l'uni, qui rend compte du profil de la piste.

2.1.3.1. Indice de service

Les relevés réalisés en 2018 sur la piste 09/27 rapportent un IS global de niveau 90. Les relevés de l'IS réalisés en 2021, un mois après l'évènement, rapportent un indice de niveau 88. Ces valeurs sont classées au niveau « très bon ». Cependant, ces valeurs moyennes ne mettent pas en évidence les valeurs brutes de l'indice superficiel sur certaines mailles de mesure dans la zone de la croisée des pistes : 68 pour la piste 09/27 et 55, soit sous le seuil critique, pour la piste 13/31.
Les principales dégradations relevées sont des fissures de joints et de la fissuration de retrait pour lesquelles l'unité locale du SID assure de manière courante les réparations pour limiter les dégradations et restaurer un niveau de performance acceptable.
Si l'unité du SID stationnée sur l'aérodrome de Le Luc Le Cannet assure les entretiens et la surveillance nécessaires, les moyens à sa disposition permettent seulement d'effectuer des réparations sommaires. Les travaux de maintenance lourde relèvent des échelons régionaux et centraux du SID, selon les priorités d'investissements fixées et les ressources budgétaires allouées par l'armée de Terre.

L'IS global satisfaisant n'est pas révélateur de l'état de certaines mailles de la piste, dont l'IS superficiel met en évidence des actions à conduire.

2.1.3.2. Profil de la piste

Sur la piste 27, dans la zone de 10 m après la prise de contact au sol de la roue du train auxiliaire, les relevés topographiques mettent en évidence des ondulations de la piste. Sur de courtes portions, la pente atteint des valeurs supérieures à 3%.

Entre ces différentes portions, des changements de pentes sont calculés entre -7% à +8%.
La DIRCAM reprend les normes et pratiques recommandées par l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI) en annexe 14 de la convention de Chicago relative à la conception et l'exploitation des aérodromes.
Pour une piste de catégorie 1C telle que la piste 09/27 de Le Luc Le Cannet, il est recommandé :

- qu'aucune portion de piste ne présente une pente longitudinale dépassant 2% ;
- qu'entre deux pentes consécutives, le changement de pente n'excède jamais 2% ;
- de réaliser le passage d'une pente à une autre par des courbes de raccordement le long desquelles la pente ne varie pas de plus de 0,4%.

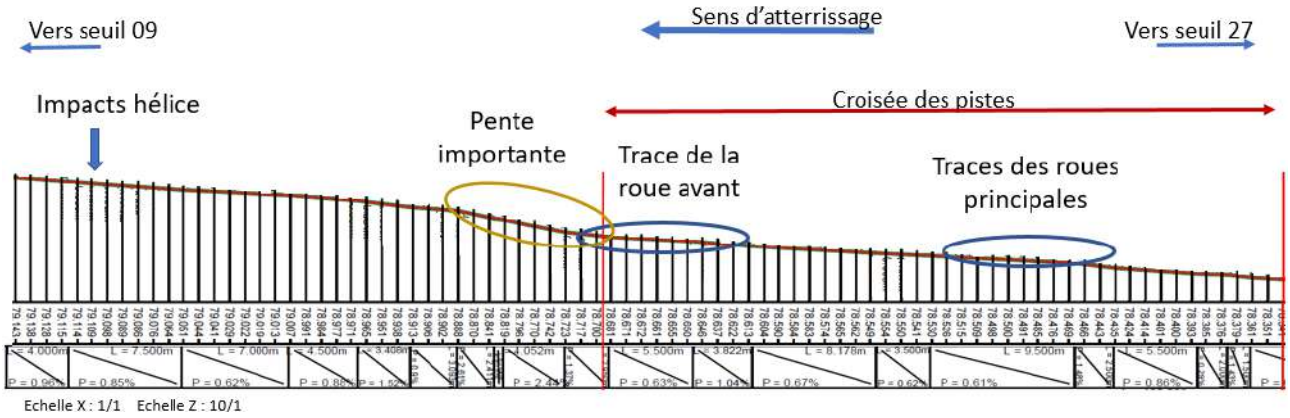

Figure 10 : profil en long piste 09/27 à 1 m à gauche de l'axe 27

Dans la portion entre le toucher des roues et l'impact de l'hélice au sol, le profil de la piste présente des irrégularités de pente dépassant localement les normes recommandées par la convention internationale de l'aviation civile.

2.1.4. Expertise météorologique

Dans la zone de Le Luc Le Cannet le modèle Arome prévoit un vent de secteur ouest supérieur à 20 kt et des rafales atteignant 34 kt, informations confirmées par les observations météorologiques. L'effet du vent sur les reliefs à l'ouest du terrain et les rafales de vent génèrent des tourbillons et des rotors locaux non prévisibles par les modèles, perceptibles parfois à plusieurs kilomètres du relief jusque sur le terrain de Le Luc Le Cannet. Ces phénomènes sont la source de turbulences modérées à fortes dans les très basses couches. Combinées aux phénomènes de rotor, ces turbulences peuvent devenir localement fortes pendant quelques secondes. Par conséquent, le vent est instable en direction et en force.
Au moment de l'atterrissage, le vent souffle du 280° pour 24 kt, avec des rafales atteignant 32 kt.

Les conditions aérologiques génèrent un vent instable en direction et des turbulences modérées à fortes sur le terrain de Le Luc Le Cannet.

2.1.5. Expertise des enregistreurs

2.1.5.1. Atterrissage à Biarritz Pays Basque

Lors de l'atterrissage à Biarritz Pays Basque, la trajectoire à l'arrondi et l'attitude de l'avion lors du contact des roues avec le sol sont stables et conformes au déroulement d'un atterrissage normal. L'accélération verticale est comprise entre 0,8 g et 1,2 g.

L'avion, en particulier son train d'atterrissage auxiliaire, n'a pas subi de contrainte anormale lors du précédent atterrissage.

2.1.5.2. Atterrissage à Le Luc Le Cannet

L'axe, le plan, et la vitesse sont stabilisés avec les volets sortis à partir de 380 ft. La puissance demandée au moteur varie de 20 à 50% de couple, afin de maintenir la vitesse et le plan d'approche. La force du vent requiert une correction de vitesse de +10 kt en finale, portant celle-ci à 90 kt. Au moment de l'arrondi, le régime du moteur est au ralenti. Dans la phase de prise de contact avec le sol, l'accélération verticale enregistrée est restée inférieure à 1,1 g.
Trois sonneries brèves de l'alarme de décrochage sont audibles dans la seconde qui précède le premier contact des roues. L'incidence de l'avion n'est pas enregistrée. Toutefois, à cet instant, la vitesse indiquée est de 80 kt, soit 1,3 fois la vitesse de décrochage dans la configuration du moment. Cette alarme a donc probablement été déclenchée par une variation instantanée de l'incidence de l'aile provoquée par le vent instable conjuguée à l'exécution de l'arrondi.
La fréquence d'un hertz de l'enregistrement des paramètres de vol ainsi que l'absence d'enregistrement des positions des commandes de vol et de la position des compensateurs ne permettent pas de restituer précisément le déroulé de l'atterrissage lors des cinq secondes critiques de l'évènement. L'enregistrement rend compte d'une seule oscillation en tangage sur une période de cinq secondes. Les témoignages de l'équipage indiquent l'absence d'action volontaire à piquer dans cette phase et deux à trois oscillations en tangage après la prise de contact à la croisée des pistes jusqu'au heurt de l'hélice au sol avant la stabilisation de l'avion.
Au moment du contact initial des roues, les enregistrements indiquent une assiette proche de zéro degré. Cela corrobore le témoignage de l'équipage qui indique avoir posé « trois points ». À proximité de la zone déformée de la piste, l'impact significatif avec le sol conduit à faire rebondir l'aéronef d'environ deux pieds selon les paramètres enregistrés. Durant ce rebond, l'enregistrement restitue une assiette à piquer allant jusqu'à -3 degrés.

Au moment du premier contact avec le sol, l'avion a une assiette « trois points ». Dans l'instant suivant, l'avion redécolle légèrement et l'assiette devient négative. Le contact de l'hélice au sol intervient trois secondes après le premier contact des roues au sol. Les oscillations en tangage interviennent entre le contact du train auxiliaire avec la piste et le contact au sol de l'hélice.

2.2. Séquence de l'évènement

L'avion se présente à l'atterrissage en piste 27 de l'aérodrome Le Luc Le Cannet par un vent fort, instable et une aérologie turbulente.
La prise de contact des roues avec le sol se fait « trois points », le train auxiliaire prenant contact avec le sol moins d'une seconde après le train principal. Ce contact du train auxiliaire se fait dans la zone déformée de la piste.
Après la première prise de contact avec le sol, l'avion redécolle légèrement et réalise deux à trois oscillations en tangage, puis se stabilise au sol. Une volute de fumée est aperçue par l'équipage juste avant l'arrêt des oscillations.
Après avoir contrôlé la vitesse, le pilote dirige normalement l'avion vers le parking où il procède à son immobilisation et à l'arrêt du moteur.

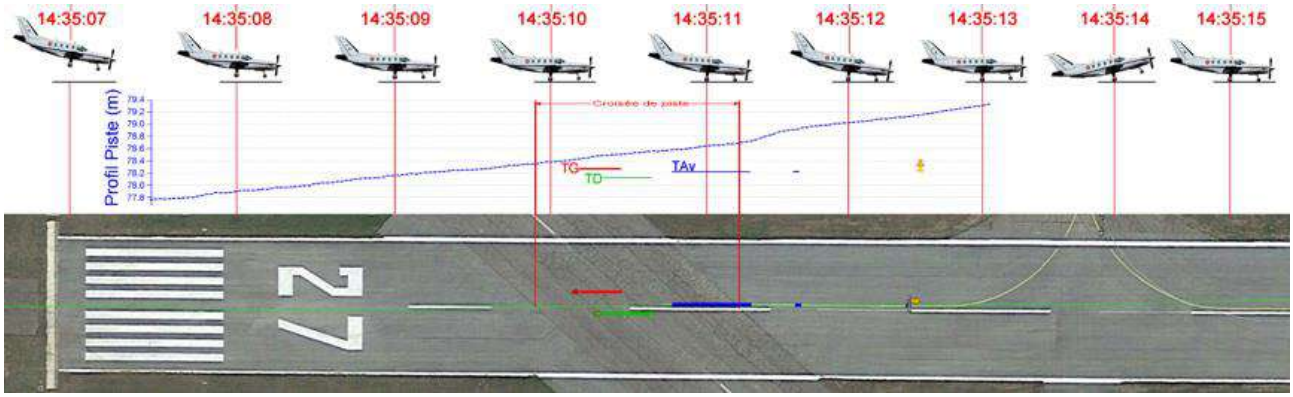

Figure 11 : séquence de l'évènement

2.3. Recherche des causes de l'évènement

2.3.1. Facteur technique

L'expertise du train auxiliaire ne révèle pas d'anomalie de fonctionnement, ni de dégradation et l'amortisseur ne fuit pas.
La pression de gonflage de l'amortisseur de train auxiliaire est insuffisante. Or l'application de la pression recommandée permet de garantir l'efficacité de fonctionnement de celui-ci et le maintien du contact de la roue avec le sol. De plus, la garde au sol de l'hélice s'en trouve réduite : la hauteur est relevée à 180 millimètres pour un minimum attendu de 207 millimètres.

La pression insuffisante de gonflage de l'amortisseur du train auxiliaire n'a pas permis de garantir le bon contact de la roue au sol. Elle a favorisé les oscillations et a réduit la garde au sol de l'hélice. Cette pression insuffisante est donc un facteur contributif à l'évènement.

2.3.2. Facteur environnemental

2.3.2.1. Aérologie turbulente

Un vent fort avec des rafales importantes souffle dans l'axe de piste. De plus, ce vent est variable en direction et en intensité. Des turbulences modérées à fortes sont également présentes. Ces conditions rendent l'aérologie turbulente au moment de l'atterrissage et de la réalisation de l'arrondi. Les conditions de vent impliquent un ajustement constant du régime moteur et des actions sur les commandes de vol pour conserver le plan d'approche finale jusqu'au dernier moment.

Les conditions turbulentes de l'aérologie sont contributives à l'évènement.

2.3.2.2. État de la piste

La piste présente des défauts de l'uni dans la zone de contact initial, avec des variations de pentes dépassant les normes.
Lors du poser des roues de l'avion, les défauts ont engendré une succession de compressions et de détentes des amortisseurs de train d'atterrissage, provoquant une perte de contact de la roue avant avec le sol. La vitesse air étant suffisante, ces défauts de la piste ont vraisemblablement eu un effet de tremplin pouvant faire décoller l'avion temporairement.

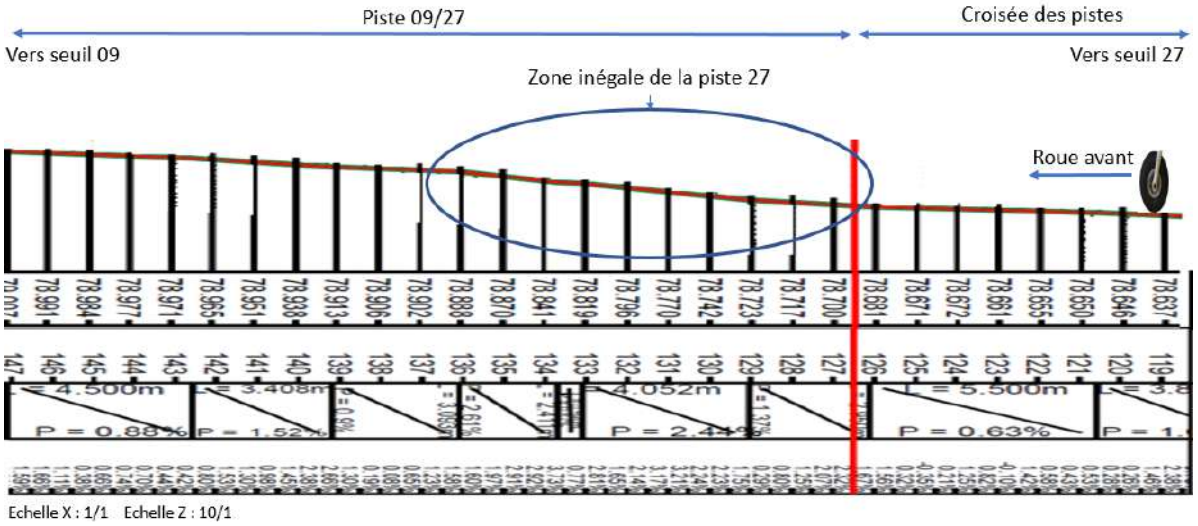

Figure 12 : défaut de la piste provoquant un effet tremplin

Les défauts de l'uni de la piste dans la zone de prise de contact à l'atterrissage ont contribué au déclenchement des oscillations de l'avion.

2.3.3. Facteurs organisationnels et humains

2.3.3.1. Choix de la piste d'atterrissage

L'aérodrome de Le Luc Le Cannet dispose de deux pistes croisées, l'une de 1 399 m orientée 13/31 et l'autre de 799 m orientée 09/27. Afin d'avoir une plus grande distance d'atterrissage disponible, mais aussi en raison du trafic aérien important sur le terrain, les équipages du DAAT pratiquent habituellement la piste 13/31.
Le contrôle aérien annonce un vent soufflant du 270° et pouvant atteindre 30 kt en rafale. Pour un poser en piste 31, la composante de vent traversier serait alors supérieure à 19 kt, pouvant approcher 25 kt avec les rafales, aux limites du domaine d'emploi de l'avion. Une telle composante latérale rend l'atterrissage plus délicat à conduire, d'autant plus que le vent est particulièrement variable en direction et en force.
Le terrain disposant d'une piste axée dans le sens du vent, qui offre une marge de distance satisfaisante (cf. 1.6.2) (166 m au moins sans inversion de poussée), et en l'absence de trafic sur le terrain, l'équipage choisit alors naturellement la piste 27.

Le choix de la piste d'atterrissage dans l'axe du vent répond aux besoins de la conduite du vol.

2.3.3.2. Technique de pilotage

2.3.3.2.1. Complexité de l'atterrissage en TBM 700

Les performances propulsives et aérodynamiques du TBM 700 lui permettent de voler en croisière à des vitesses importantes et d'atterrir à vitesse faible. Du fait de ces performances, le TBM 700 est un avion délicat à poser : à vitesse faible, la sensibilité des commandes de vol est importante. Le pilote doit gérer finement l'assiette et soutenir le nez.

Dans la phase d'arrondi, cet aéronef a une tendance à planer et à bénéficier d'un effet de sol. Ainsi, quelques nœuds de plus en début d'arrondi suffisent à faire remonter et planer l'avion avec pour conséquence un poser plus long si le pilote arrondit comme à l'habitude, ou alors incitent le pilote à prendre une assiette moins importante et à se rapprocher d'un poser trois points afin de limiter la distance de planer.
Dans le cas d'un terrain court, pour respecter le point visé, cette tendance est accentuée et le niveau de risque d'un poser « trois points » augmente.

L'atterrissage sur une piste offrant une courte marge de distance est connu pour être exigeant : les approches sont délicates à mener et requièrent une bonne exécution de l'arrondi. Le niveau de risque d'un poser « trois points » est important.

2.3.3.2.2. Exécution de l'atterrissage

Pour se poser sans rebond, il est nécessaire de présenter le train d'atterrissage principal en premier, en relevant suffisamment l'assiette.
La phase d'arrondi et de toucher requiert une grande vigilance. Cette phase fait appel à la perception visuelle de l'environnement direct de l'avion (hauteur au-dessus de la piste, défilement, etc.) ainsi qu'à la perception somesthésique des mouvements de l'aéronef. Ces informations permettent d'élaborer les actions aux commandes.
Dans cette phase de planer pendant laquelle la vitesse est en réduction, l'assiette de l'aéronef a naturellement tendance à diminuer sous l'effet du poids du nez de l'avion ; ce phénomène demande au pilote d'effectuer une action progressive à cabrer afin d'assurer d'abord le poser du train principal, puis dans un second temps, celui du train auxiliaire.
Sur piste courte, l'équipage a tendance à focaliser son attention sur un point de poser précis au détriment du relevé de l'assiette nécessaire à l'arrondi. Ceci entraîne un moindre soutien du nez et *de facto* une pression de contact du train auxiliaire avec le sol plus importante.
La disposition des traces relevées traduit un soutien insuffisant du nez de l'avion et un contact franc de la roue avant : lors de l'évènement, le pilote a posé quasi simultanément les trois roues au sol. Cette action favorise la survenue d'oscillations, voire d'un léger rebond.
L'amplitude insuffisante de l'arrondi et le poser immédiat de la roue du train auxiliaire, comprimant brutalement l'amortisseur, ont donc probablement contribué aux oscillations de l'aéronef jusqu'à atteindre une attitude à piquer inusuelle et ponctuelle lors de la course à l'atterrissage, attitude avec laquelle l'hélice de l'aéronef a alors touché la piste.
Cette situation peut être également favorisée par un réglage inadapté du compensateur de profondeur. Ce réglage peut favoriser une difficulté de pilotage de l'assiette dans cette phase critique. La position du compensateur de profondeur n'est pas enregistrée sur cet appareil.

Une erreur de dosage dans l'exécution de l'arrondi est un facteur ayant contribué à l'évènement.

2.3.3.3. Focalisation de l'attention

La complexité de l'atterrissage dans les conditions de l'évènement requiert un niveau d'attention élevé.
La présence du vent fort et turbulent lors de la phase d'approche a induit de fortes contraintes sur le maintien de la vitesse et du plan. Le pilote a dû réaliser de nombreuses corrections de puissance. Ponctuellement le pilote a été obligé d'atteindre une puissance de 50% alors qu'habituellement celle-ci n'est que de 20 ou 30%.
Les échanges entre les membres d'équipage indiquent une préoccupation relative à l'influence du vent sur la tenue de la trajectoire et des paramètres de la finale jusqu'au poser. Les ressources attentionnelles de l'équipage étant pleinement orientées sur le maintien de la trajectoire stabilisée, il n'a pas été en mesure d'anticiper la gestion de l'arrondi différent de l'habitude du fait de la majoration de vitesse.

Il est probable que l'équipage ait privilégié la stabilisation de la trajectoire à la précision de l'atterrissage et de manière associée à la gestion de l'arrondi.

La difficulté de maintien des paramètres de vol en courte finale en raison des conditions aérologiques a eu pour conséquence une focalisation de l'attention des membres d'équipage sur la stabilisation de la trajectoire au détriment de la qualité de l'arrondi.

2.3.3.4. Évaluation du risque[23]

2.3.3.4.1. Expérience de l'équipage

Les deux pilotes sont très expérimentés et qualifiés commandant de bord. Chacun effectue régulièrement des atterrissages sur piste courte. En dehors des vols d'entraînement après lesquels les atterrissages sur ce type de piste sont enregistrés, aucun suivi de cette pratique n'est effectué. Il est donc impossible de quantifier l'expérience des pilotes sur piste courte.
La forte expérience aéronautique des deux membres d'équipage et la pratique régulière des pistes courtes peuvent être à l'origine d'une sensation de maîtrise par l'équipage générant une perception erronée du risque. Bien que son utilisation soit autorisée par les normes opérationnelles de l'exploitant, la piste 09/27 de Le Luc Le Cannet est très peu utilisée par les équipages du DAAT. En effet, équipages et contrôleurs privilégient quasi systématiquement la piste 13/31, plus longue et plus sécurisante, depuis la suppression des approches aux instruments sur piste 09/27 pour les avions quatre ans auparavant. Les équipages d'avion utilisent exceptionnellement la piste 09/27 en approche à vue lorsqu'un vent fort provient du secteur ouest, tel que rencontré le jour de l'évènement. Le PF indique n'avoir atterri en TBM 700 qu'une seule fois sur cette piste au cours de sa carrière ; quant à lui, le CDB rapporte avoir réalisé un seul poser sur cette piste au cours de l'année écoulée. L'expérience de l'équipage sur cette piste 09/27 est donc faible. Néanmoins, les équipages d'avion de transport et de liaison sont habitués, en lien avec la nature de leur mission, à fréquenter des pistes qu'ils pratiquent peu ou jamais.

La forte expérience de l'équipage et sa pratique régulière des pistes courtes ont pu favoriser une sous-évaluation du risque de l'atterrissage lors de l'évènement.

2.3.3.4.2. Contexte de l'évènement

Les missions de liaison sont effectuées très régulièrement par les équipages de l'escadrille. Malgré un léger retard au décollage de Biarritz, l'atterrissage a lieu à l'heure grâce à des conditions météorologiques favorables durant le transit. Aucune pression ou contrainte n'a été ressentie par l'équipage, au-delà des objectifs de la mission définis lors de la préparation.
La fréquence de ces missions a généré un sentiment de maîtrise à l'origine d'une sous-évaluation du risque par l'équipage : la mission ne présente aucune difficulté particulière susceptible de remettre en cause sa réussite. En effet, plus les équipages sont confrontés à une situation qui est maîtrisée, plus leur niveau d'appréciation du risque diminue pouvant aller jusqu'à une banalisation des situations délicates rencontrées au cours de la mission.

Ce type de mission est habituel pour l'équipage. Aucune contrainte supplémentaire n'a été ressentie par l'équipage. Cette situation peut générer un sentiment de maîtrise conduisant à une banalisation du risque rencontré au cours de la mission.

[23] L'évaluation du risque est un processus cognitif qui consiste en l'acquisition d'informations (de manière passive et active) et à leur traitement, nécessitant un recours fréquent à des heuristiques basées sur l'expérience de l'individu. Le résultat est une évaluation subjective du risque, car, en tant que processus cognitif, cette évaluation est imparfaite et se heurte à la fois aux limites des capacités cognitives humaines et à l'usage incertain d'hypothèses tirées de l'expérience.

2.3.3.4.3. Conditions aérologiques

Pendant tout le vol, le vent est fort. Lors de la préparation de l'approche, les informations alors reçues confirment un vent important avec de fortes rafales. Par ailleurs, en fin de vol, s'étant allégé par la consommation de carburant, l'avion est plus sensible aux effets du vent.
Ces conditions aérologiques complexifient l'atterrissage : en créant de fortes turbulences, elles ont engendré des difficultés à maintenir le plan d'approche, nécessitant de nombreuses corrections. Cependant, lors de l'évènement, la présence de vents forts n'est pas jugée exceptionnelle par l'équipage, habitué à ce type de conditions aérologiques. Les échanges dans le cockpit révèlent que les deux pilotes ont récemment été confrontés à des situations d'atterrissage et de décollage avec des forts vents, supérieurs aux conditions du jour. Or, la perception du risque est influencée par les expériences passées et plus particulièrement les expériences récentes.

L'expérience récente de conditions aérologiques plus défavorables peut avoir favorisé une sous-évaluation du risque aérologique par l'équipage conduisant à ne pas relever le niveau d'attention.

2.3.3.4.4. Niveau d'attention

Si la charge de travail pendant la phase de vol en croisière permet des échanges dépassant le cadre aéronautique, des échanges ne concernant pas directement la conduite du vol sont prééminents durant la phase de croisière et encore présents jusqu'au contact avec l'approche de Le Luc Le Cannet. Toutefois, l'équipage reste concentré sur la conduite du vol, les actions à mener, les check-lists et la surveillance de l'environnement. Le manuel d'exploitation ne prévoit pas un arrêt total du dialogue ne concernant pas la conduite du vol à partir d'un moment défini. Par conséquent, les équipages adaptent en théorie leur comportement à la situation rencontrée et notamment au niveau de risque perçu. Les dialogues et les échanges détendus et constants au sein de l'équipage ne démontrent pas de perception d'un risque particulier pour l'atterrissage. Or, il est établi ordinairement que plus la situation est exigeante cognitivement, plus les ressources allouées au pilotage augmentent, et limitent celles disponibles pour des échanges informels et personnels.

La sous-évaluation du risque par l'équipage a pu le conduire à retarder l'adoption d'un niveau d'attention en adéquation avec la phase d'approche et d'atterrissage, en lien avec le niveau du risque perçu.

2.3.3.5. Gestion attentionnelle

Le pilote indique que ses nuits de repos sont perturbées par un évènement personnel. Il ne peut être exclu que la proximité de l'échéance de cet évènement soit une préoccupation lors du vol qui peut être à l'origine d'une dispersion de l'attention de celui-ci.
Le commandant de bord rencontre également un sommeil perturbé dans la période pour des raisons personnelles mais également professionnelles. Il ne peut être exclu que ses préoccupations aient affecté son attention lors du vol.
Cependant, ni le pilote ni le CDB n'ont déclaré se sentir fatigués ou trop préoccupés pour ne pas être en mesure d'exécuter la mission en toute sécurité. Les enregistrements du vol témoignent d'une activité du cockpit en adéquation avec les différentes phases de vol et les pratiques de l'escadrille. Il n'a pas été identifié d'erreur dans l'exécution des check-lists, ni d'oubli malgré les communications personnelles.

Le fait que les préoccupations personnelles et professionnelles de chaque membre d'équipage aient pu être propices à un défaut d'attention contribuant indirectement à l'évènement est possible.

2.3.3.6. Renoncement

Lors du briefing avant descente, l'équipage prépare la séquence d'atterrissage et évoque la possibilité d'une remise des gaz. Atteignant l'objectif de la mission de transport du passager, il est possible que l'équipage ait eu une motivation importante pour arriver à destination en évitant une remise des gaz. En effet, la présence d'un passager de la hiérarchie militaire peut être associée à une injonction culturelle de réussite, la remise des gaz pouvant alors être perçue comme un échec.
Lors de l'évènement, si le plan et la vitesse d'approche sont maintenus, l'analyse des paramètres montre que le pilote a dû faire des corrections en permanence en raison du vent fort et instable. Le CDB, qui perçoit pendant la finale l'exigence de pilotage dans ces conditions, indique qu'il peut reprendre les commandes si le pilote le juge nécessaire. Malgré cette forte exigence technique du jour, l'équipage n'évoque pas une nouvelle fois la possibilité d'une remise des gaz. La volonté de répondre à cette injonction culturelle de réussite d'un atterrissage sans remise des gaz peut avoir entravé les capacités décisionnelles de l'équipage à renoncer et à remettre les gaz.
Cependant, en vol, aucune communication n'indique une volonté d'éviter de remettre les gaz. De plus, les deux membres d'équipage déclarent avoir déjà décidé de remettre les gaz, pour des raisons de sécurité, malgré la présence d'une haute autorité militaire à bord de l'aéronef. Lors du briefing avant descente, les performances évaluées permettent de décider l'atterrissage sur la piste 27. Une remise de gaz est consécutive à une approche non stabilisée ou à l'absence de repères visuels aux minima. Or, à 380 pieds, soit à une hauteur supérieure aux préconisations pour les atterrissages en VFR, l'approche et la finale sont maîtrisées et la piste est bien en vue. Il n'y a donc pas d'élément significatif incitant l'équipage à renoncer à atterrir.

En l'absence d'éléments significatifs pour renoncer à l'atterrissage, il ne peut être exclu que la présence d'une autorité militaire dans l'aéronef puisse avoir entravé les capacités décisionnelles de l'équipage à renoncer à atterrir sur cette piste.

2.3.3.7. Contrôle de l'infrastructure de la piste

2.3.3.7.1. Usure et inégalités de la piste

Dans la zone de la piste sur laquelle les roues prennent contact avec le sol, les examens visuels et les expertises ont relevé des imperfections avec notamment des pentes et des variations de pente importantes sur de courtes distances, un changement de revêtement et de nombreuses réparations. Or, la qualité de la piste a une incidence importante sur le déroulement de l'atterrissage. Les pentes et les ondulations du revêtement ont un effet direct sur les trains d'atterrissage et le maintien de leur contact avec le sol (adhérence, renvoi vertical d'énergie) et par conséquent sur la cinématique de l'avion dans cette phase critique.
Sur l'ensemble de la piste, l'indice de service global est dans les normes. Cependant, localement dans la zone de la croisée des pistes, l'IS superficiel de la piste 13/31 a dépassé le seuil critique, dénotant une usure significative.
L'enquête n'a pas permis de retrouver l'historique de contrôle de l'uni des chaussées aéronautiques de l'aérodrome de Le Luc Le Cannet. Le dernier contrôle a pu avoir été réalisé lors de la réception des travaux de réfection de la piste en 2001.
En 2018, une expression de besoin pour la réfection des chaussées aéronautiques a été émise par le directeur d'aérodrome. Cette opération ne devrait pas être réalisée avant 2025. Afin de garantir un état optimal des pistes, les experts des infrastructures d'aérodrome de l'aviation civile recommandent une réfection ou une rénovation de la piste tous les dix ans, modulée par son usage.

Dans la zone sur laquelle les roues prennent contact avec le sol, la piste présente des inégalités de pente et une usure du revêtement, qui ont certainement contribué à l'évènement.

2.3.3.7.2. Surveillance de l'état de la piste

L'état de la piste est évalué par la DIRCAM au travers d'une visite de surveillance réalisée tous les cinq ans environ. Cette évaluation est pratiquée à partir des documents (relevé d'IS, rapport d'auscultation des chaussées, tests d'adhérence) et des observations relevées sur site (contrôle par échantillonnage). Au cours des dernières visites d'homologation en 2010 et 2017, aucun écart constaté ne concerne l'état d'usure de la piste, notamment sur la zone de croisement de piste. Toutefois, un programme d'entretien fixant le calendrier en application des exigences de l'instruction 4450 de la DIRCAM a été demandé au cours de la dernière visite de 2017.
Au titre de la règlementation de la DIRCAM, le contrôle de l'uni ne fait pas partie des exigences de contrôle pour l'homologation d'une piste ni de son suivi en dehors de travaux de maintenance lourde de la piste. Les défauts de pente qui pourraient être révélés à l'occasion de ce contrôle ne sont donc pas pris en compte dans les conditions d'homologation.
Par ailleurs, ni le service du contrôle assurant les inspections de piste ni les équipes de l'USID en charge de l'entretien n'ont constaté ou rapporté les variations de pente au niveau du croisement des pistes, que l'évènement a révélées.
De même, aucun pilote d'avion ou d'hélicoptère n'a fait remonter de problème sur cette zone, que ce soit au roulage ou lors des atterrissages.
Par conséquent, aucun travail ni surveillance particulière n'a été envisagé dans le but d'améliorer l'état de la zone de raccordement des deux pistes.
À Le Luc Le Cannet, la comptabilisation des mouvements d'aéronefs ne différencie pas les pistes utilisées ni les atterrissages et les décollages. La surveillance de l'usure de l'une des pistes ne peut pas prendre en compte les mouvements d'avion sur celle-ci.

Ni les audits de la DIRCAM, ni les surveillances et contrôles de l'USID, ni les inspections par les contrôleurs, ni les équipages n'ont identifié de particularité dans la zone de raccordement des pistes. Aucune surveillance particulière n'a donc été mise en place sur cette zone.

2.3.3.8. Suivi de maintenance et contrôle sur l'avion

Les expertises techniques ont démontré que la hauteur apparente de la tige d'amortisseur du train auxiliaire n'était pas dans les normes après l'atterrissage. Cette hauteur plus faible que l'attendu a pour conséquence de réduire la garde au sol (distance entre l'hélice et le sol) en deçà de la valeur minimale exigée, ce qui augmente le risque d'un contact entre l'hélice et le sol. Les origines de cet écart ont été recherchées dans les précédents vols et dans les actes de maintenance.

2.3.3.8.1. Absence de détection de l'écart de hauteur de la tige d'amortisseur

Antériorité de l'écart

Le train auxiliaire a été avionné neuf sur l'avion le 28 août 2019 et les opérations de vérification de la pression ont été réalisées par le titulaire du marché de maintenance lors de la visite le 17 juin 2020. Aucune anomalie n'a été rapportée. Depuis cette date et particulièrement lors de la dernière maintenance de l'avion cinq semaines auparavant, aucun rapport de défaut n'a été formulé.
Les paramètres enregistrés lors de l'atterrissage réalisé précédemment à Biarritz Pays Basque par l'équipage ne démontrent pas de contrainte excessive appliquée à l'avion et en particulier sur le train d'atterrissage auxiliaire. Il est donc peu probable que ce train auxiliaire ait subi une détérioration de ses qualités depuis le départ de Rennes.
À Biarritz comme à Rennes, l'équipage a réalisé un tour de l'avion avant et après le vol en application du POH. Le contrôle qu'il réalise sur le train auxiliaire est visuel, sans prise de mesure. Aucune fuite hydraulique sur l'amortisseur du train auxiliaire n'a été détectée, qui aurait pu révéler une anomalie sur l'amortisseur.

Depuis le montage du train auxiliaire sur l'avion, aucun défaut sur le train n'a été relevé.

Contrôles pré vol

Avant la mise en vol d'un aéronef, les mécaniciens de piste effectuent une visite d'inspection pré vol, selon les préconisations du chapitre « procédures approfondies » du POH (*amplified procedures* chapitre 4.4.1) applicable normalement en cas d'immobilisation prolongée ou de maintenance majeure de l'avion. Compte tenu du contexte d'exploitation de la flotte de TBM 700 dans l'armée de Terre, cette inspection approfondie n'est pas spécifiquement requise chaque jour par le manuel de maintenance du constructeur ni le manuel d'exploitation. Elle prévoit notamment le contrôle de hauteur de la tige d'amortisseur et permet de garantir une hauteur minimale de l'hélice avec le sol. La hauteur de la tige doit être comprise entre 57 millimètres au minimum avec le plein carburant et 63 millimètres au minimum avec la moitié du plein. En cas de relevé hors normes ou de doute, il est prévu de contrôler la pression de l'amortisseur.

AMPLIFIED PROCEDURES

PREFLIGHT INSPECTION (Cont'd)

9 - Nose gear
- Landing light / shock absorber / doors / tire / wheel well ..... **CHECK**

Without passengers and baggages on board, the unpainted surfece of the nose gear shock absorber tube must be visible about :
- 57 mm (2.22 in) of minimum height with full tanks,
- 63 mm (2.46 in) of minimum height with half tank.

NOTE :
Crush or relieve the shock absorber one time or twice before the inspection to remove possible sticking.

In case of doubt, request a check of the shock absorber pressure.

Figure 13 : extrait du chapitre 4.4 du POH

Afin de contrôler cette hauteur, les équipes de piste n'ont pas d'outil spécifique, mais disposent de simples réglets parmi les outillages. Par commodité et en l'absence d'exigence spécifique dans la vérification quotidienne, les opérateurs utilisent leurs doigts comme référence de mesure. Pour cela, ils positionnent trois ou quatre doigts sur la tige d'amortisseur et estiment si sa hauteur est dans les normes. L'utilisation de trois ou quatre doigts est admise comme étant supérieure à la valeur minimale exigée par le POH quelle que soit la personne réalisant le contrôle. En réalité, cette évaluation de hauteur est une approximation dont la variabilité dépend à la fois de l'expérience et des caractéristiques morphologiques de la population des mécaniciens. Par la mise en œuvre d'une pratique inadaptée, les contrôles avant vol des amortisseurs de train n'ont pas permis de détecter un défaut sur la hauteur de la tige d'amortisseur.
Aucune anomalie n'a été rapportée depuis la dernière maintenance effectuée cinq semaines auparavant.

Les équipages, quant à eux, réalisent le tour de l'avion avant et après les vols, conformément au chapitre 4.3.1 de ce même POH : leur contrôle sur le train auxiliaire est seulement visuel, sans prise de mesure. En effet, même si la vérification approfondie du chapitre 4.4.1 peut être réalisée par les équipages, il est considéré que celle-ci relève de l'équipe de maintenance. Ainsi, ils ne peuvent découvrir une valeur hors normes.

CHECK-LIST PROCEDURES

PREFLIGHT INSPECTION (Cont'd)

9 - Nose gear
- Landing light / shock-absorber / doors / tire / wheel well ..... **CHECK**

10 - R.H. exhaust stub ..... **CHECK**

Figure 14 : extrait du chapitre 4.3 du manuel de vol

La pratique adoptée par les techniciens de maintenance pour la vérification de l'amortisseur est inadaptée et n'a pas permis de détecter l'écart de hauteur. En mise en œuvre quotidienne, les équipages ne réalisent pas de prise de mesure de la hauteur des amortisseurs et s'appuient sur leur expérience visuelle pour détecter une anomalie.
La non détection de cet écart de longueur est un facteur contributif de l'évènement.

2.3.3.8.2. Gonflage de l'amortisseur

Selon les données constructeur, l'amortisseur de train auxiliaire doit être gonflé à 5,7 bars. Or, après l'évènement, la pression mesurée était de 4 bars. Sur les trains principaux, il n'a pas été relevé de défaut de gonflage.
La vérification de pression de l'amortisseur du train auxiliaire a été réalisée lors d'une maintenance neuf mois avant l'évènement, par le titulaire du contrat de maintenance. Pour réaliser cette tâche de maintenance, les équipes de techniciens utilisent un manomètre dont la plage de mesure est comprise entre 0 et 250 bars avec une précision de classe 1,6[24], soit une précision de plus ou moins quatre bars.
Ni la plage de mesure ni la précision de ce type de manomètres ne sont adaptées à la valeur de pression de l'amortisseur de train du TBM 700. Selon les bonnes pratiques de métrologie, afin de disposer de la valeur relevée la plus fiable possible, le choix d'un manomètre ayant la plus petite plage de mesure possible en cohérence avec la valeur à mesurer minimise l'écart maximal toléré. La mesure recherchée doit idéalement se trouver éloignée des extrémités de la plage de mesure de l'outil. Ainsi, une imprécision théorique maximale de 4 bars ne semble pas adaptée lorsque la mesure attendue n'est que de 6 bars, même en cas d'emploi d'un manomètre à affichage digital.
Même si le résultat du contrôle de performance du manomètre est conforme, le manomètre mis à la disposition des techniciens est une source d'erreur de précision de la mesure de pression de gonflage de l'amortisseur.

L'outil de mesure de pression de gonflage de l'amortisseur de train d'atterrissage utilisé pour la maintenance est inadapté aux faibles valeurs de pression de l'amortisseur de train du TBM 700. Le choix de cet outil est susceptible d'avoir engendré une imprécision sur la valeur de pression de l'amortisseur.

2.3.4. Fragilités organisationnelles sans lien direct avec l'évènement

2.3.4.1. Désignation tardive des équipages

Les deux membres d'équipage n'étaient initialement pas prévus pour réaliser cette mission du vendredi. Selon la planification, ils étaient déjà prévus en vol chaque jour de la semaine du lundi au jeudi. Le pilote est prévenu la veille de la mission et le CDB est averti au réveil le matin même.
Les sollicitations tardives par les états-majors, clients du DAAT, imposent une réorganisation des vols jusqu'au dernier moment. Ces replanifications sans délai sont devenues routinières au sein de l'escadrille. Depuis la suppression de l'avion et de l'équipage de remplacement, l'escadrille ne désigne plus qu'un équipage de réserve par semaine pour remplacer un membre d'équipage défaillant. Dans ces conditions, ces sollicitations tardives ou indisponibilités inopinées imposent des remplacements fréquents au sein des équipages. Une fois que cet équipage part en vol, un nouvel équipage est alors désigné pour assurer l'alerte. L'adaptation permanente de la planification des vols est devenue la norme au sein de l'escadrille.
Les désignations tardives génèrent une diminution du temps de préparation des équipages et des missions. De plus, leur caractère imprévisible et répétitif est de nature à imposer aux équipages une adaptation fréquente de leurs contraintes personnelles et générer des préoccupations en vol pouvant nuire à la sécurité aérienne de la mission, voire à des fatigues psychologiques.

La répétition des désignations tardives des équipages et les adaptations fréquentes sont source d'une fatigue psychologique pouvant générer un facteur de risque pour la sécurité aéronautique.

[24] Classe 1,6 : la mesure est précise à 1,6% de 250 bars, c'est-à-dire à 4 bars dans toute la plage.

2.3.4.2. Documentation d'emploi et de maintenance

Depuis 2016, les documentations d'emploi et de maintenance du TBM 700 disponibles pour les techniciens du DAAT sont rédigées en langue anglaise. Le POH est constitué d'un classeur épais, qu'il n'est pas aisé d'exploiter lors de l'inspection extérieure de l'avion.
Il existe par ailleurs un memento rédigé en français développé et utilisé au sein d'une autre autorité d'emploi, qui permet d'avoir un aide-mémoire pour les inspections avant vol, pratique notamment pour les phases de vérifications extérieures.

La documentation disponible pour les vérifications avant vol par les techniciens du DAAT n'est pas pratique d'emploi dans toutes les situations.

PAS DE TEXTE

3. CONCLUSION

L'évènement est un heurt d'hélice avec la piste lors de l'atterrissage.

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

Compte tenu du fort vent d'ouest, le TBM 700 se présente en finale pour un atterrissage en piste 27 à Le Luc Le Cannet. Après l'arrondi, les roues du train principal et la roue du train auxiliaire entrent quasi simultanément en contact avec le sol à la croisée des pistes, 105 m après le seuil. Immédiatement après le toucher des roues, des oscillations de l'avion en tangage sont ressenties par l'équipage et aperçues par des témoins présents à la tour de contrôle.
L'équipage distingue une éphémère volute de fumée à l'avant de l'appareil et les oscillations s'arrêtent. Les paramètres de conduite du moteur et de pilotage sont normaux.
Après l'atterrissage, l'avion dégage la piste et roule vers le parking. Au cours de la visite consécutive au vol, l'équipage constate l'abrasion de l'extrémité des quatre pales de l'hélice.
Les indicateurs de suivi de l'état de la piste d'atterrissage témoignent d'indices de service globaux bons, mais ne rendent pas compte des défauts localisés, que la maintenance opérationnelle ne suffit pas à corriger totalement. Il est constaté des imperfections de pentes et une usure de la piste. Il n'a pas été possible de retrouver de contrôle de l'uni.
Après l'atterrissage, il est relevé une garde au sol de l'hélice trop faible en conséquence du gonflage insuffisant de l'amortisseur de train auxiliaire.
L'avion est légèrement endommagé et ses occupants sont indemnes.

3.2. Causes de l'évènement

Le heurt de l'hélice au sol trouve son origine dans la conjonction de plusieurs facteurs :

- la présence d'un vent fort, variable en direction et en force et d'une aérologie turbulente ;
- l'affichage d'une assiette insuffisante à l'arrondi, favorisé par :
  - une sous-évaluation du risque dans des conditions météorologiques particulières associée à la complexité du pilotage de TBM 700 ;
  - une focalisation de l'attention sur les paramètres de l'approche au détriment de l'exécution de l'arrondi ;
  - l'utilisation d'une piste offrant une faible marge de distance qui induit la recherche d'un point de poser précis, accroissant la complexité de l'atterrissage ;
- le gonflage insuffisant de l'amortisseur de train auxiliaire, dont la non détection lors des opérations de maintenance et lors des visites avant vol est favorisée par :
  - la pratique adoptée pour la mesure de la hauteur de tige d'amortisseur par les techniciens de maintenance, conduisant à une évaluation imprécise de cette hauteur ;
  - le contrôle uniquement visuel par les équipages des amortisseurs et de la distance de l'hélice au sol qui s'appuie sur leur expérience pour détecter une anomalie ;
  - l'emploi, lors des opérations de maintenance, d'un outil de mesure de pression de l'amortisseur de train d'atterrissage peu adapté aux faibles valeurs de pression de l'amortisseur ;
- les défauts de surface de la piste dans la zone de prise de contact des roues :
  - du fait d'une usure de la piste et des inégalités associées à des variations de pente dépassant les normes recommandées par la convention internationale de l'aviation civile ;
  - non détectés par le service de contrôle d'aérodrome ou le service de maintenance lors de la surveillance de la piste, ni par les équipages d'avion et d'hélicoptère lors de l'utilisation.

PAS DE TEXTE

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

4.1.1. État de la piste

La piste 27 présente des inégalités de surface dans la zone de prise de contact à l'atterrissage, autour de la croisée avec la piste 13/31.
Le suivi de l'état de la piste est réalisé notamment au travers de l'indice de service. Prévu par le contrat de service local pour être réalisé tous les deux ans sur la base de Le Luc Le Cannet, il est en pratique réalisé tous les trois ans, en accord avec l'exigence de la DIRCAM. Cependant, les seuils critiques ponctuellement observés n'ont pas été suffisamment pris en compte.
Suite aux écarts relevés lors de la visite d'homologation des pistes de l'aérodrome par la DIRCAM en 2017 et évalués en 2020 dans le cadre du plan de suivi des actions correctives, le programme d'entretien et de suivi de la piste, prévu au titre de l'homologation, n'existe toujours pas.
La piste n'a pas fait l'objet d'une réfection depuis 20 ans alors que les préconisations visent une durée de vie d'une dizaine d'années, pouvant toutefois être modulée selon l'usage qui est fait de la piste. Même si elles sont majoritairement utilisées par des hélicoptères, les aires de mouvement sont soumises à de fréquents et importants aléas climatiques du fait de la localisation de l'aérodrome. Depuis la réfection de 2001, le contrôle de l'uni n'a pas été réalisé, car non requis en suivi d'état et d'homologation de la piste.
Pour le directeur d'aérodrome, ces éléments sont nécessaires à l'exercice de sa responsabilité sur les aires de mouvements. Ils sont indispensables à la planification à moyen et long terme des travaux d'entretien et de réfection afin d'obtenir les moyens afférents et donc indispensables à la maîtrise des risques aéronautiques.

En conséquence, le BEA-É recommande :

au chef d'état-major de l'armée de Terre de mettre en œuvre un programme d'entretien, de surveillance et de réfection des aires de mouvements de l'aérodrome de Le Luc Le Cannet.

R1 – [T-2021-05-I] *Destinataire : CEMAT*

à la DSAÉ d'étudier, avec les autorités d'emploi et le service d'infrastructure de la défense, la possibilité d'intégrer le contrôle de l'uni dans les critères d'homologation et de suivi de l'évaluation de l'homologation des pistes d'aérodrome.

R2 – [T-2021-05-I] *Destinataire : DSAÉ*

4.1.2. Vérifications avant vol

La pratique adoptée pour la mesure de la tige d'amortisseur par les techniciens de maintenance est inadaptée et n'a pas permis de détecter l'écart de hauteur. Les équipages ne réalisent pas de prise de mesure et s'appuient sur leur expérience visuelle pour détecter une anomalie.

En conséquence, le BEA-É recommande :

au chef d'état-major de l'armée de Terre de renforcer le contrôle des amortisseurs de train d'atterrissage lors des vérifications avant vol par les équipages et par les techniciens.

R3 – [T-2021-05-I] *Destinataire : CEMAT*

4.1.3. Outillage de maintenance

Le manomètre à grande plage de mesure (0-250 bars) de classe 1,6 utilisé lors des maintenances du train auxiliaire est peu adapté à la faible valeur de pression (six bars) de l'amortisseur : il induit une erreur maximale de mesure acceptable de quatre bars, même si les étalonnages réalisés indiquent un écart réel plus faible.

En conséquence, le BEA-É recommande :

au chef d'état-major de l'armée de Terre et au titulaire du contrat de maintenance de mettre à disposition des techniciens des outils de mesure de pression adaptés aux valeurs à mesurer.

R4 – [T-2021-05-I] *Destinataires : CEMAT, Daher (copie DMAé et DGA/SQ)*

4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement

4.2.1. Documentation

Le personnel technicien d'aéronautique du DAAT utilise le manuel de vol pour réaliser les opérations de vérifications extérieures. Des erreurs de compréhension et d'interprétation peuvent survenir.
Or, il existe par ailleurs un memento (*check-list*) rédigé en français, non approuvé par l'armée de Terre, mais développé et utilisé au sein d'une autre autorité d'emploi, qui permet d'avoir un aide-mémoire pour les inspections avant vol, pratique notamment pour les phases de vérifications extérieures.

En conséquence, le BEA-É recommande :

au chef d'état-major de l'armée de Terre d'étudier la mise à disposition pour le personnel d'une documentation de maintenance de type memento, en français, pour les visites avant et après vol.

R5 – [T-2021-05-I] *Destinataire : CEMAT*

ANNEXE 1
AMORTISSEUR DU TRAIN D'ATTERRISSAGE AUXILIAIRE

Le train d'atterrissage auxiliaire (également appelé train avant) est constitué entre autres de :

- un compas de guidage (repères 11 et 12) du tube piston de l'amortisseur ;
- un amortisseur oléopneumatique (repères 13 et 14).

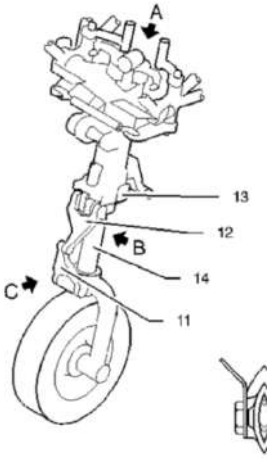

Figure 15 : train avant

Fonctionnement de l'amortisseur du train d'atterrissage auxiliaire :

L'amortisseur oléopneumatique du train avant se compose d'un caisson, d'un tube central et d'un pivot dans lequel coulisse un tube piston porteur de la fusée de roue.
En compression de l'amortisseur, lorsque le tube piston s'enfonce dans le pivot, le liquide de la chambre inférieure (repère 11) est expulsé vers la chambre supérieure (repère 1) en passant par les orifices calibrés du diaphragme de compression (repère 8) et plaque le diaphragme de détente (repère 9) sur son siège, le rendant inopérant.
La compression du tube piston s'arrête quand la force de l'azote est égale à la charge appliquée à la roue.
Lorsque la charge sur la roue diminue, l'amortisseur se détend sous l'action de l'énergie emmagasinée par l'azote lors de la compression.
Le diaphragme de détente (9) est plaqué sur le diaphragme de compression (8). Le liquide est alors laminé au travers des orifices de détente vers la chambre inférieur (11), ralentissant ainsi le mouvement de détente de l'amortisseur.

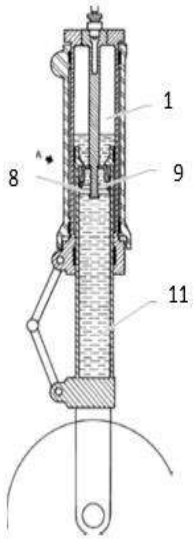

Figure 16 : vue de l'amortisseur en coupe

PAS DE TEXTE

ANNEXE 2

DETAIL DES OBSERVATIONS EMISES PAR DAHER N'AYANT PAS FAIT L'OBJET DE MODIFICATION DU RAPPORT

Item	Page	Texte du rapport T-2021-05-I	Texte proposé	Commentaires
1	5	Les paramètres de conduite du moteur et de pilotage sont normaux.	A supprimer	Ce paragraphe est un résumé des faits, les analyses sont traitées plus loin.
2	5	Autres experts consultés	Autres experts consultés Chef pilote Daher Expert Daher train Expert Daher maintenance train	04/06/21 à Tarbes 24/06/21 à DGA-TA à Balma 20/08/21 à Merpins
3	8	Les paramètres sont vérifiés et normaux	Les paramètres xxx, xxx, xxx sont vérifiés et en accord avec xxx xxx xxx	A préciser
4	15	L'expertise du train d'atterrissage auxiliaire est réalisée par DGA TA.	L'expertise du train d'atterrissage auxiliaire est réalisée par DGA TA, et un complément d'expertise est réalisé par DAHER Merpins	Un complément d'expertise a été réalisé à la demande du BEA-É cf mail de N.Casal du 24/06/21
5	21	L'enregistrement rend compte d'une seule oscillation en tangage sur une période de cinq secondes.	L'enregistrement rend compte d'une seule oscillation en tangage sur une période de cinq secondes mais affiche une assiette en permanence à piquer depuis 1 minute avant le toucher des roues (variant de -11° à -0.5° au moment du toucher)	Cf données de vol
6	21	Au moment du premier contact avec le sol, l'avion a une assiette « trois points ». Dans l'instant suivant, l'avion redécolle légèrement et l'assiette devient négative.	Au moment du premier contact avec le sol, l'avion, en assiette à piquer depuis l'altitude 700ft, a une assiette « trois points ». Dans l'instant suivant, l'avion redécolle légèrement et l'assiette redevient négative.	Cf données de vol
7	22	Fig11 séquence de l'événement	14 :35 :07 : -3.79 14 :35 :08 : -0.90 14 :35 :09 : -0.54 14 :35 :10 : +0.53 14 :35 :11 : -1.57 14 :35 :12 : -2.93	Il serait intéressant d'afficher l'assiette en valeur chiffrée en complément de l'assiette schématisée par la silhouette de l'avion

8	23	2.3.3.2.1. Complexité de l'atterrissage en TBM 700 Les performances propulsives et aérodynamiques du TBM 700 lui permettent de voler en croisière à des vitesses importantes et d'atterrir à vitesse faible. Du fait de ces performances, le TBM 700 est un avion délicat à poser : à vitesse faible, la sensibilité des commandes de vol est importante. Le pilote doit gérer finement l'assiette et soutenir le nez. Dans la phase d'arrondi, cet aéronef a une tendance à planer et à bénéficier d'un effet de sol. Ainsi, quelques noeuds de plus en début d'arrondi suffisent à faire remonter et planer l'avion avec pour conséquence un poser plus long si le pilote arrondit comme à l'habitude, ou alors incitent le pilote à prendre une assiette moins importante et à se rapprocher d'un poser trois points afin de limiter la distance de planer. Dans le cas d'un terrain court, pour respecter le point visé, cette tendance est accentuée et le niveau de risque d'un poser « trois points » augmente.	2.3.3.2.1. Complexité de l'atterrissage sur une piste offrant une courte marge de distance Dans le cas d'un terrain court, pour respecter le point visé, la tendance pour le pilote à prendre une assiette moins importante afin de limiter la distance de planer est accentuée et le niveau de risque d'un poser « trois points » augmente.	L'objectif de ce paragraphe est de mettre l'accent sur les risques d'un atterrissage 3 points sur piste courte, cf encadré en bleu : L'atterrissage sur une piste offrant une courte marge de distance est connu pour être exigeant : les approches sont délicates à mener et requièrent une bonne exécution de l'arrondi. Le niveau de risque d'un poser « trois points » est important.
9	30	Or, après l'évènement, la pression mesurée était de 4 bars.	Or, après l'évènement, la pression mesurée était de 4 bars ; mesure effectuée avec un manomètre analogique modèle xxx de classe xxx	Sachant que le type de manomètre utilisé en maintenance est remis en cause dans ce paragraphe, il serait intéressant de préciser le type de manomètre utilisé pour réaliser la mesure

10		Pour réaliser cette tâche de maintenance, les équipes de techniciens utilisent un manomètre dont la plage de mesure est comprise entre 0 et 250 bars avec une précision de classe 1,6[24], soit une précision de plus ou moins quatre bars.	Pour réaliser cette tâche de maintenance, les équipes de techniciens utilisent un manomètre dont la plage de mesure est comprise entre 0 et 250 bars avec une précision de classe 1,6[24], soit une précision de plus ou moins quatre bars. Toutefois ce manomètre n'est pas vérifié selon sa classe constructeur (classe 1,6), mais selon des classes plus restrictives	Cf constats de vérification fournis en pièces jointes • 06/04/2021 Le manomètre a été vérifié conforme comme un manomètre de classe 1,6 de 10 bars max, soit une erreur maximale tolérée de 0,16 bar pour être conforme. • 26/05/2021 Sur demande client (suite à audit) le manomètre a été vérifié aux points 6 et 11 bars comme un manomètre de classe 0,5 de 250 bars. (Donc une EMT de 1,25 bar) • 22/11/2021 Le manomètre a été vérifié comme un manomètre de classe 0,5 de 250 bars. (Donc une EMT de 1,25 bar)
11	30	Même si le résultat du contrôle de performance du manomètre est conforme, le manomètre mis à la disposition des techniciens est une source d'erreur de précision de la mesure de pression de gonflage de l'amortisseur.	Les exigences de vérifications imposées sont suffisantes pour garantir la précision nécessaire de la mesure de pression de gonflage de l'amortisseur	
12	33	Une sous-évaluation du risque dans des conditions météorologiques particulières associée à la complexité du pilotage de TBM 700	Une sous-évaluation du risque dans des conditions météorologiques particulières	Le paragraphe 2.3.3.4 Evaluation du risque, détaille une sous-évaluation du risque lié à la forte expérience de l'équipage, au sentiment de maitrise de l'équipage, à l'expérience récente en conditions aérologiques dégradées, ainsi que le niveau d'attention de l'équipage, les préoccupations personnelles et professionnelles, et du renoncement à l'atterrissage, pas d'éventuelle complexité de pilotage du TBM.

13	36	4.1.3. Outillage de maintenance Le manomètre à grande plage de mesure (0-250 bars) de classe 1,6 utilisé lors des maintenances du train auxiliaire est peu adapté à la faible valeur de pression (six bars) de l'amortisseur : il induit une erreur maximale de mesure acceptable de quatre bars, même si les étalonnages réalisés indiquent un écart réel plus faible. En conséquence, le BEA-É recommande : au chef d'état-major de l'armée de Terre et au titulaire du contrat de maintenance de mettre à disposition des techniciens des outils de mesure de pression adaptés aux valeurs à mesurer. R4 – [T-2021-05-I] *Destinataires : CEMAT, Daher (copie DMAé et DGA/SQ)*	§ à supprimer	Les exigences de vérifications imposées sont suffisantes pour garantir la précision nécessaire de la mesure de pression de gonflage de l'amortisseur.

ANNEXE 3
RÉPONSE DU BEA-É AUX OBSERVATIONS EMISES PAR DAHER

GOUVERNEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

Bureau enquêtes accidents
pour la sécurité de l'aéronautique d'État
Le directeur

Villacoublay, le 11 AOUT 2022
N° 275 /ARM/BEA-É/DIR/NP

Le général de brigade aérienne Franck Mollard
directeur du bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État

à

Madame la responsable de la sécurité aéronautique de DAHER

OBJET : suivi des remarques au rapport d'enquête de sécurité T-2021-05-I.
RÉFÉRENCE : instruction interministérielle n° 7401/ARM/CAB du 14 août 2020.

Madame,

Conformément à l'instruction citée en référence, le BEA-É a étudié avec attention les remarques que vous aviez formulées suite à la réception fin avril du rapport d'enquête de sécurité en objet. J'ai souhaité par ce courrier apporter quelques éléments de réponse à ces remarques que nous avons reçues sous forme d'un tableau « word » en pièce jointe d'un mail.

Ce document comprend 13 remarques de votre part qui peuvent, en réalité, être regroupées en quatre groupes concernant quatre rubriques bien distinctes.

Le premier groupe concentre plutôt des remarques de forme où vous soulignez l'utilité, ou l'inutilité, de certaines informations et où vous émettez le souhait de préciser certaines valeurs considérées comme normales et n'ayant pas trait à l'événement. Le BEA-É, se conformant au formalisme de l'annexe 13 de la Convention de Chicago, rappelle que la première partie d'un rapport décrit les éléments factuels, à disposition de l'équipage et recueillis directement par l'enquêteur. A ce stade, il peut être utile de rappeler au lecteur les éléments qui sont normaux, sans pour autant donner de valeurs détaillées, tout particulièrement lorsque l'analyse à venir ne s'appuie pas sur ces données.

Le deuxième groupe de vos remarques concerne les experts consultés qui sont cités dans le rapport. Vous rappelez, à juste titre, que DAHER a été sollicité en tant que constructeur pour certaines expertises. Ces dernières étant intégrées au travail d'expertise demandé à DGA TA, le rapport n'a effectivement pas détaillé les organismes consultés en appui de DGA TA.

Le troisième groupe de vos remarques se concentre sur l'analyse de l'atterrissage, l'assiette de l'avion au moment du toucher des roues et la technicité requise pour poser le TBM 700 dans cette phase délicate du fait des performances, par ailleurs remarquables, de cet avion. Durant cette phase de l'évènement, l'enregistreur de données de vol a fourni des informations essentielles. L'assiette de l'avion est effectivement à piquer durant toute la finale, ce qui est habituel sur ce type d'aéronef, mais elle aurait dû être redressée au moment de l'arrondi. C'est bien ce point qui est étudié dans le rapport et qui

Base aérienne 107
Route de Gisy – 78129 Villacoublay Air
bea-e.cmi.fct@intradef.gouv.fr
Intradef : http://portail-bead.intradef.gouv.fr

explique l'évènement. La figure 11 illustre parfaitement ce phénomène, et n'a pas été enrichie de données chiffrées pour en faciliter la lecture.

En ce qui concerne la complexité de l'atterrissage sur TBM 700, le BEA-É a souhaité rappeler qu'un appareil à hautes performances nécessite un pilotage fin et précis dans certaines phases de vol, comme l'atterrissage. L'étude du BEA de janvier 2013 « pertes de contrôle sur monoturbopropulseur rapide – cas du SOCATA TBM 700 » rappelle bien ces éléments et l'importance des ressources attentionnelles nécessaires pour le pilotage à basse vitesse. Le retour d'expérience évoqué dans ce paragraphe est donc intéressant à partager.

Le quatrième et dernier groupe de vos remarques a trait à l'ensemble de la problématique de l'emploi d'un manomètre inadapté à la mesure de pression effectuée sur le train avant. Comme vous le soulignez, les vérifications de ce manomètre, effectuées a posteriori, montrent que sa précision est bien meilleure que celle annoncée par le constructeur. Cependant, c'est bien cette dernière qui fait foi, raison pour laquelle l'expertise pointe une inadéquation entre l'instrument et la valeur à mesurer. Par ailleurs, le choix d'un manomètre d'une plage de mesure aussi grande pour mesurer une valeur aussi petite n'est pas judicieux. Suite aux premiers échanges, l'exploitant a d'ores et déjà pris les mesures nécessaires pour corriger ce point.

Par conséquent, je vous informe que le rapport T-2021-05-I sera bien publié en l'état sur le site internet du BEA-É.

Comme pour les enquêtes de l'aviation civile et en accord avec l'annexe 13 à la Convention relative à l'aviation civile internationale qui ouvre la possibilité d'annexer les commentaires des conseillers techniques aux rapports de sécurité, DAHER bénéficie du droit de faire annexer à ce rapport final une « lettre de dissension » récapitulant vos désaccords.

Les causes racines de cet incident aérien sont parfaitement comprises et le rapport ne remet absolument pas en cause la qualité et les performances de l'avion.
Il me semble que vos observations sont presque toutes d'ordre rédactionnel et ne nécessitent pas une telle lettre de votre part. Mais, puisque vous l'évoquez dans votre correspondance électronique, nous vous confirmons que votre société bénéficie du droit de faire annexer ses observations au rapport.

Bien sincèrement.