

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

Rapport d'enquête de sécurité



A-2021-19-A

Date de l'évènement	17 octobre 2021
Lieu	commune de Ponsampère (Gers)
Type d'appareil	Extra 330/L
Organisme	Armée de l'Air et de l'Espace

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

	SPOT AERO B.AUBERTEL	Page de garde
Figure 1	<i>Google Earth</i> et BEA-É	8
Figures 2 à 11	BEA-É	11 à 15
Figure 12	Precision Airmotive Corporation	17
Figures 13 à 19	DGA EP et BEA-É	18 à 22
Figures 20 et 21	<i>Google Earth</i> et BEA-É	23 et 24
Figure 22	BEA-É	25
Figures 23 et 24	DGA EP	27
Figures 25 et 26	BEA-É	31 et 33

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	8
1.4. Autres dommages	8
1.5. Renseignements sur l'équipage.....	8
1.6. Renseignements sur l'aéronef.....	9
1.7. Conditions météorologiques	10
1.8. Aides à la navigation	10
1.9. Télécommunications	10
1.10. Renseignements sur l'aérodrome le plus proche	10
1.11. Enregistreurs de bord.....	10
1.12. Constatations sur l'aéronef et sur la zone de l'accident.....	11
1.13. Renseignements médicaux.....	15
1.14. Incendie.....	15
1.15. Questions relatives à la survie des occupants et à l'organisation des secours	16
1.16. Essais et recherches	16
1.17. Renseignements sur les organismes.....	16
2. Analyse.....	17
2.1. Expertises techniques.....	17
2.2. Séquence de l'évènement.....	26
2.3. Recherche des causes de l'évènement.....	26
2.4. Traitement de la panne	32
2.5. Éléments dissociés de l'évènement mais ayant trait à la sécurité.....	32
3. Conclusion	35
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement	35
3.2. Causes de l'évènement	35
4. Recommandations de sécurité	37
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement	37
4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement	37

GLOSSAIRE

AAE	Armée de l’Air et de l’Espace
BA	Base aérienne
CAG	Circulation aérienne générale
CEPIA	Centre d’expertise pétrolière interarmées
CFA	Commandement des forces aériennes
DGA EP	Direction générale de l’armement - Essais propulseurs
EGT	<i>Exhaust gas temperature</i> , température de gaz d’échappement
ENAC	École nationale de l’aviation civile
EVAA	Équipe de voltige de l’armée de l’Air
FIS	<i>Fuel Injector Servo</i> , régulateur de carburant
ft	<i>Feet</i> , pieds (1 pied vaut 30,48 cm)
kt	<i>Knots</i> , nœuds (1 nœud vaut 1,852 km/h)
MEB	Microscope électronique à balayage
MEC	Mécanicien
OPJ	Officier de police judiciaire
PCB	Pilote commandant de bord
PEA	Programme d’entretien aéronef
RESEDA	Restitution des enregistreurs d’accidents
SIV	Secteur d’information de vol
SMUR	Structure mobile d’urgence et de réanimation
VFR	<i>Visual flight rules</i> , règles de vol à vue

SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 17 octobre 2021 à 10h32
Lieu de l'évènement : commune de Ponsampère, lieu-dit L'Escalet (Gers)
Organisme : armée de l'Air et de l'Espace (AAE)
Commandement organique : Commandement des forces aériennes (CFA)
Unité : Équipe de Voltige de l'armée de l'air (EVAA)
Aéronef : Extra 330/L (biplace), immatriculé F-TGCH
Nature du vol : liaison
Nombre de personnes à bord : 2

Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

Le 17 octobre 2021, une patrouille de trois avions Extra 330, dont un Extra 330/L (biplace) de l'équipe de voltige de l'armée de l'air (EVAA), effectue un vol de liaison à partir de l'aéroport de Biarritz Pays Basque (LFBZ) à destination de la base aérienne 701 (BA 701) de Salon-de-Provence. Après 35 minutes de vol, l'Extra 330/L, avec à son bord un pilote commandant de bord (PCB) et un mécanicien, subit une perte totale de puissance. Le pilote est contraint de procéder à un atterrissage forcé en campagne sur la commune de Ponsampère (Gers). Lors de la manœuvre, l'avion heurte violemment le sol, rebondit et entame une glissade jusqu'à son arrêt définitif. L'équipage, légèrement blessé, évacue l'aéronef par ses propres moyens. L'appareil est fortement endommagé.

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 directeur d'enquête adjoint (BEA-É) ;
- un enquêteur technique (BEA-É) ;
- un enquêteur de première information (EPI) ;
- un pilote ayant une expertise sur Extra 330 ;
- un mécanicien ayant une expertise sur Extra 330 ;
- un médecin breveté supérieur en médecine aéronautique.

Autres experts consultés

- Direction générale de l'armement – Essais propulseurs (DGA EP) / division évaluation des systèmes aéropropulsifs ;
- DGA EP / restitution des enregistreurs d'accidents (RESEDA) ;
- Centre d'expertise pétrolière interarmées (CEPIA).

PAS DE TEXTE

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Type de vol : circulation aérienne générale-règles de vol à vue (CAG VFR¹)

Type de mission : convoyage

Dernier point de départ : aéroport de Biarritz Pays Basque (LFBZ)

Heure de départ : 9h50

Point d'atterrissage prévu : BA 701 Salon-de-Provence (LFMY) « Général Pineau »

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Contexte du vol

Les trois avions Extra 330, un biplace et deux monoplaces, de l'équipe de voltige de l'armée de l'air (EVAA) participent au dernier meeting de la saison 2021 à Saint-Jean-de-Luz. Les aéronefs sont stationnés pour cette manifestation sur l'aéroport de Biarritz Pays Basque. La veille de l'évènement, le pilote de l'avion biplace a réalisé un vol de présentation en patrouille à trois. À l'issue, les avions subissent une inspection approfondie par l'équipe technique puis sont abrités dans un hangar situé au sud de la piste.

1.1.2.2. Préparation du vol

Le dimanche 17 octobre 2021 au matin, les trois pilotes préparent le vol de convoyage retour puis rejoignent les avions. L'Extra 330/L biplace volera en position de leader de la patrouille, les deux monoplaces voleront en arrière et à droite du leader. Dans l'avion biplace, le PCB est assis en place arrière et un mécanicien de l'EVAA est invité à prendre place à l'avant. Les équipages assurent la mise en route des trois avions puis roulent en direction du point d'avitaillement en carburant situé dans la zone nord de l'aéroport.

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

À 10h00, les trois avions décollent de la piste 27 de l'aéroport de Biarritz Pays Basque puis, après un passage à la verticale de l'aéroport, prennent un cap est comme prévu lors de la préparation. La visibilité est bonne, le vent est calme, il n'y a pas de turbulence. Les aéronefs volent en patrouille avec un espacement de 50 à 100 mètres à une altitude de 1 500 ft. Les deux monoplaces sont en retrait et à droite par rapport au leader. À 10h17 la patrouille croise plusieurs oiseaux. Le pilote du biplace décide donc de faire monter la formation à 2 000 ft, afin de limiter le risque aviaire. Après avoir stabilisé la patrouille à cette hauteur, le pilote du biplace transfère quelques instants les commandes de l'avion au passager. La vitesse de vol indiquée est stable à 153 kt, la hauteur sol est alors d'environ 1 000 ft.

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

Après 31 minutes et 30 secondes de vol, l'équipage de l'appareil biplace ressent une perte de puissance accompagnée d'une forte décélération. La vitesse passe rapidement de 153 à 118 kt, sans que l'aéronef ne perde de hauteur. Le pilote reprend instantanément les commandes de l'appareil. Il effectue rapidement les vérifications moteur sans pouvoir retrouver de puissance. Il annonce à ses équipiers qu'il est en panne moteur et se prépare pour un atterrissage forcé. Il choisit un champ en herbe en légère montée en avant de l'aéronef et légèrement à gauche de sa trajectoire initiale. En quelques secondes, l'avion impacte le sol et rebondit. De nouveau dans les airs, l'avion suit une trajectoire vers des arbres et vers une ligne téléphonique que le pilote découvre lors de ce rebond. Il oriente alors l'aéronef vers une zone dégagée en déviant sa trajectoire à gauche tout en maintenant l'appareil à plat. L'appareil heurte à nouveau le sol dans la partie descendante du champ à près de 90° de l'axe initial d'approche. Au passage, l'avion percute une clôture dont le câble s'enroule autour de l'axe de l'hélice. Le train principal s'efface. L'avion s'immobilise en quelques dizaines de mètres. Après avoir effectué les manœuvres de sécurité, le pilote et son passager, tous deux légèrement blessés, évacuent par leurs propres moyens.

L'appareil est fortement endommagé.

¹ VFR : *visual flight rules*, règles de vol à vue.

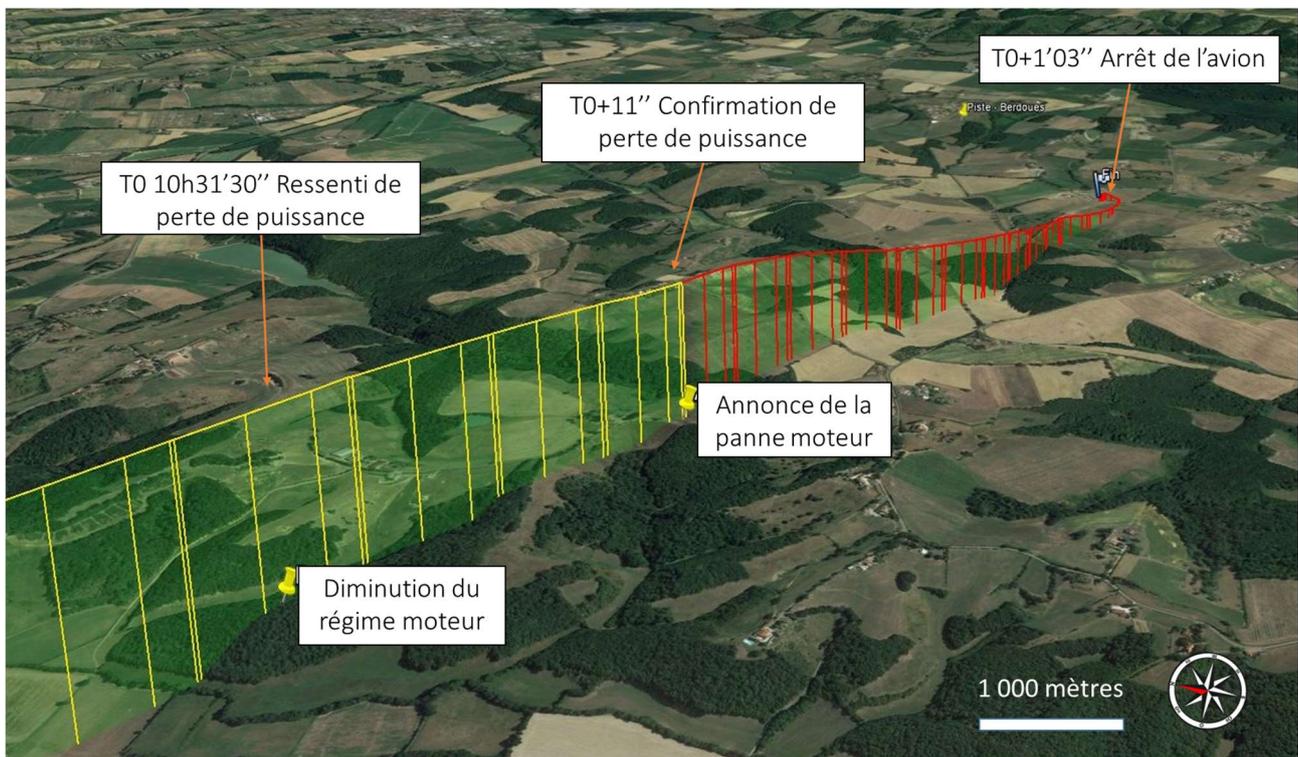


Figure 1 : reconstitution de la trajectoire finale

1.1.3. Localisation

- Lieu :
 - pays : France
 - département : Gers (32)
 - commune : Ponsampère, lieu-dit « L'Escalet »
 - coordonnées géographiques : N 43° 27' 37" / E 000° 22' 34"
 - hauteur de l'évènement : environ 1 000 ft
- Moment : jour
- Aérodrome le plus proche au moment de l'évènement : aérodrome privé de Berdoues (LF3226)

1.2. Dommages corporels

Le PCB et le passager sont légèrement blessés.

1.3. Dommages à l'aéronef

L'avion est fortement endommagé.

1.4. Autres dommages

Une clôture et quelques piquets ont été arrachés. Le champ où repose l'épave est en partie pollué par du carburant et des fibres de carbone.

1.5. Renseignements sur l'équipage

1.5.1. Pilote commandant de bord

- Âge : 39 ans
- Unité d'affectation : EVAA
- Fonction dans l'unité : commandant d'unité

- Formations :
 - qualifications : pilote de chasse en 2004, puis chef de patrouille, pilote de voltige en 2001, conversion en qualification voltige Européenne FCL 800 en 2019. SEP² en mars 2020, validité juillet 2022.
 - école de spécialisation : École de l'aviation de chasse (EAC), 2004
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	Dont Extra 330	sur tout type	Dont Extra 330	sur tout type	Dont Extra 330
Total (h)	3 500	1 400	90	77	21	16

- Test en vol en avril 2021 sur Extra 330
- Date du précédent vol sur Extra 330, le 16 octobre 2021

1.5.2. Mécanicien passager

- Âge : 36 ans
- Unité d'affectation : EVAA
- Fonction dans l'unité : responsable du bureau technique depuis 2018
- Formation :
 - qualification : mécanicien vecteur, 2004
 - école de spécialisation : École de formation des sous-officiers de l'armée de l'Air et de l'Espace (EFSOAAE), 2004
- Heures de vol :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	Dont Extra 330	sur tout type	Dont Extra 330	sur tout type	Dont Extra 330
Total (h)	22	5	2	2	2	2

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : AAE
- Commandement organique d'appartenance : CFA
- Organisme de maintenance : société Aérotech Pro
- Aérodrome de stationnement : BA 701 de Salon-de-Provence
- Unité d'affectation : EVAA
- Type d'aéronef :

	Type-série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis
Cellule	Extra 330/L (biplace)	1282	1 892	VI 100 ³ : 10
Moteur	Lycoming AEIO-580-B1A	L-155-79E	1 856	RG ⁴ : 496
Hélice	MTV 9 BC/C198-25	080528	2 566	RG : 207

1.6.1. Maintenance

L'examen de la documentation témoigne d'un entretien de l'appareil conforme au programme de maintenance en vigueur et aux règles de maintien de la navigabilité EMAR/FR 145-023.

² SEP : *single engine pistons*, qualification de classe monomoteur à pistons.

³ VI 100 : visite intermédiaire réalisée toutes les 100 heures de vol de l'avion.

⁴ RG : révision générale, toutes les 1400 heures ou 12 ans.

Une étude particulière sur le potentiel technique du système d'injection du moteur fait l'objet d'une analyse dans la suite du rapport.

Les opérations de maintenance en atelier sont externalisées par contrat à la société Aérotech Pro.

L'EVAA assure la remise en œuvre, le service courant et les opérations de ligne des trois Extra 330 de l'AAE.

1.6.2. Performances

L'aéronef est exploité dans son domaine de vol tout au long de la mission.

1.6.3. Masse et centrage

La masse et le centrage sont dans les normes d'emploi de l'aéronef pendant tout le vol de la mission.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : 100 LL
- Quantité de carburant au décollage : 160 litres
- Quantité de carburant au moment de l'évènement : 125 litres estimés

1.6.5. Autres fluides

- Huile moteur : XO162
- Liquide hydraulique : H-515 pour le circuit de freinage

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

Les prévisions météorologiques sur l'aéroport de Biarritz Pays Basque au décollage sont un vent inférieur à 5 kt du secteur sud, pas de couverture nuageuse et une visibilité supérieure à dix kilomètres. La météorologie sur l'ensemble de la navigation jusqu'à l'arrivée est sensiblement identique.

1.7.2. Observations météorologiques

Les conditions observées et rencontrées par les pilotes sont conformes aux prévisions annoncées lors du briefing avant vol. Le vent sur la zone de l'évènement au moment de l'accident est de secteur ouest pour environ 10 kt.

1.8. Aides à la navigation

L'appareil dispose d'un système embarqué de navigation offrant les fonctions de GPS avec une cartographie déroulante.

1.9. Télécommunications

L'Extra 330/L est équipé d'un poste radio (VHF⁵). Le jour de l'évènement, ce système était opérationnel et le pilote était en contact radio bilatéral avec le secteur d'information de vol (SIV) Pyrénées et ses équipiers. Le pilote disposait également d'une tablette personnelle EFB⁶ avec une application de navigation aérienne.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome le plus proche

L'aérodrome de Berdoues dispose d'une piste privée située au cœur d'un lotissement dit « village aéronautique ». La piste, orientée sensiblement Est-Ouest (080°-260°), est bitumée et ses dimensions sont de 750 mètres de long pour 18 mètres de large.

L'usage est permis aux extérieurs sur demande.

1.11. Enregistreurs de bord

L'appareil est équipé d'un système d'enregistrement de données de vol et d'enregistrement vocal (FDR/CVR⁷) mémorisant la trajectoire, les conversations radio et téléphone de bord, les paramètres de vol et du moteur.

⁵ VHF : *Very high frequency* – très haute fréquence.

⁶ EFB : *Electronic flight bag*, tablette numérique tactile utilisée par les pilotes pour l'aide à la navigation et les informations nécessaires à la préparation du vol. Cet équipement peut emporter tout ou partie de la documentation aéronautique.

⁷ FDR/CVR : *Flight data recorder* – enregistreur de données de vol / *cockpit voice recorder* – enregistreur de voix en cabine.

En plus d'être stockées dans l'enregistreur durci, ces données sont exportées sur une carte mémoire SD extractible située sur la planche de bord. Les informations enregistrées ont été récupérées et ont été exploitées.

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

1.12.1. Examen de l'aéronef

Le saumon de l'aile gauche est fortement endommagé. On observe, à partir de l'extrémité de la voilure gauche, une déchirure du bord d'attaque. Une partie de l'intrados est également déchirée.



Figure 2 : extrémité de l'aile gauche et bord d'attaque

Sur l'aile droite, le réservoir d'aile est éventré. Le train principal gauche est arraché, le train principal droit est écrasé sous l'aile. La partie inférieure du fuselage est éventrée.



Figure 3 : état général de l'avion

La verrière est brisée au niveau de la place arrière pilote. Les éléments de la verrière ont tous été retrouvés au sol, en haut de la pente, à l'extérieur du cockpit, sur la trajectoire de glissade de l'aéronef.



Figure 4 : verrière brisée

Dans le poste de pilotage, l'ancrage du siège avant est cassé.



Figure 5: ancrages supérieurs du siège de la place avant rompus

Les fixations supérieures du bâti-moteur se sont rompues, les fixations inférieures sont déformées.

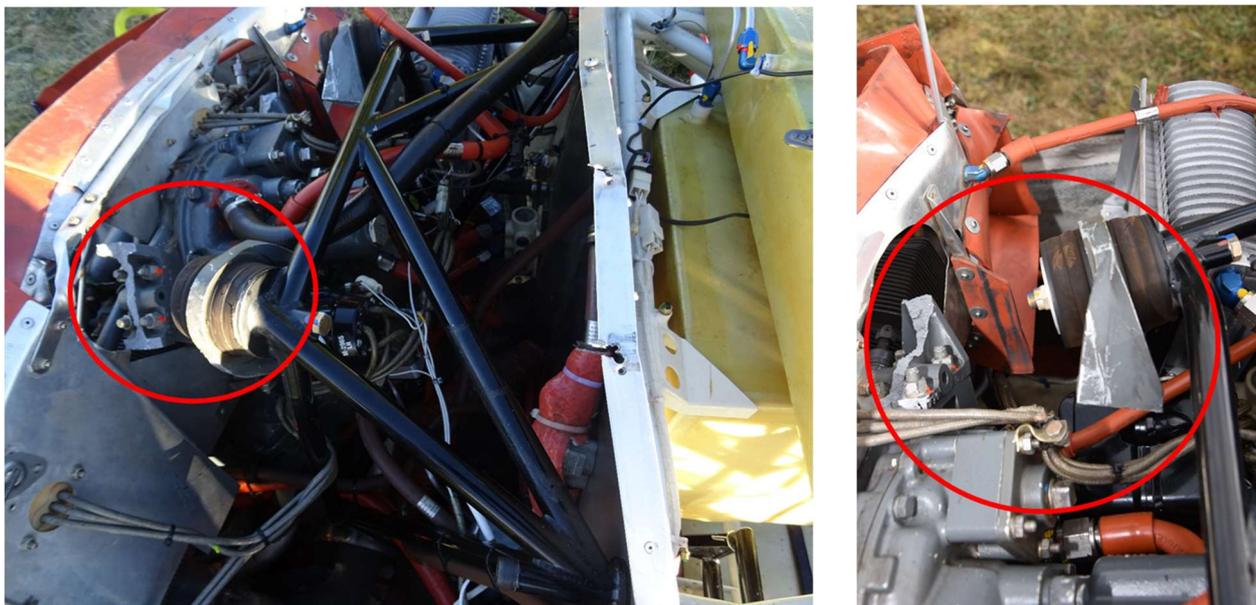


Figure 6 : fixations du bâti-moteur rompues

Les trois pales de l'hélice sont détruites. Le cône d'hélice ne porte pas de trace particulière. Un câble métallique de clôture s'est enroulé autour du moyeu.

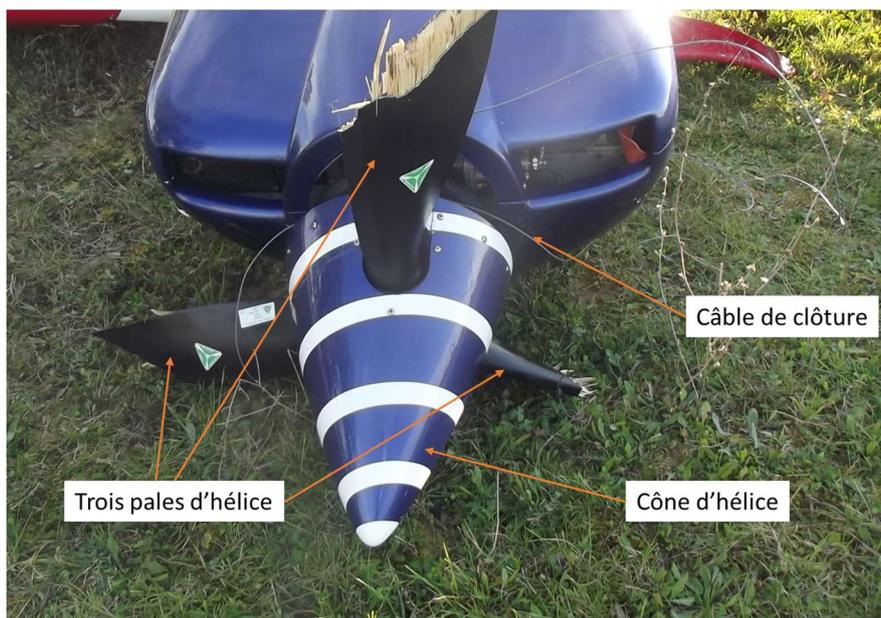


Figure 7 : trois pales d'hélice endommagées et câble de clôture enroulé autour du moyeu

1.12.2. Examen de la zone de poser d'urgence

Le premier point d'impact avec le sol sur le haut de la colline se situe à une altitude de 850 ft et le point d'arrêt de l'avion à 800 ft. L'appareil est posé dans un champ en pente moyenne de 14°. Une trace de glissade en légère courbe est visible du haut du champ jusqu'à l'épave sur une longueur de 45 mètres. Les débris sont répartis tout au long de cette trace sur une surface de 130 m² environ.

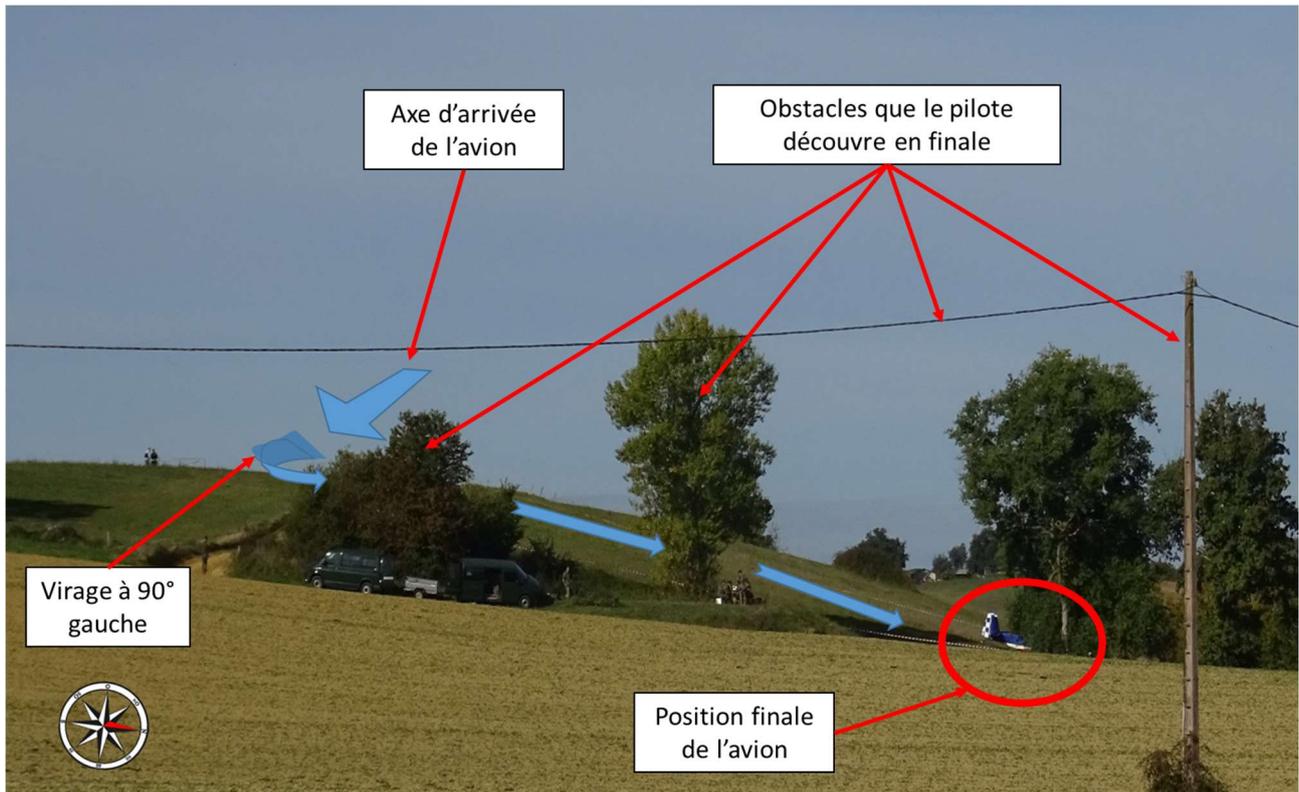


Figure 8 : vue par le travers de l'axe du poser final

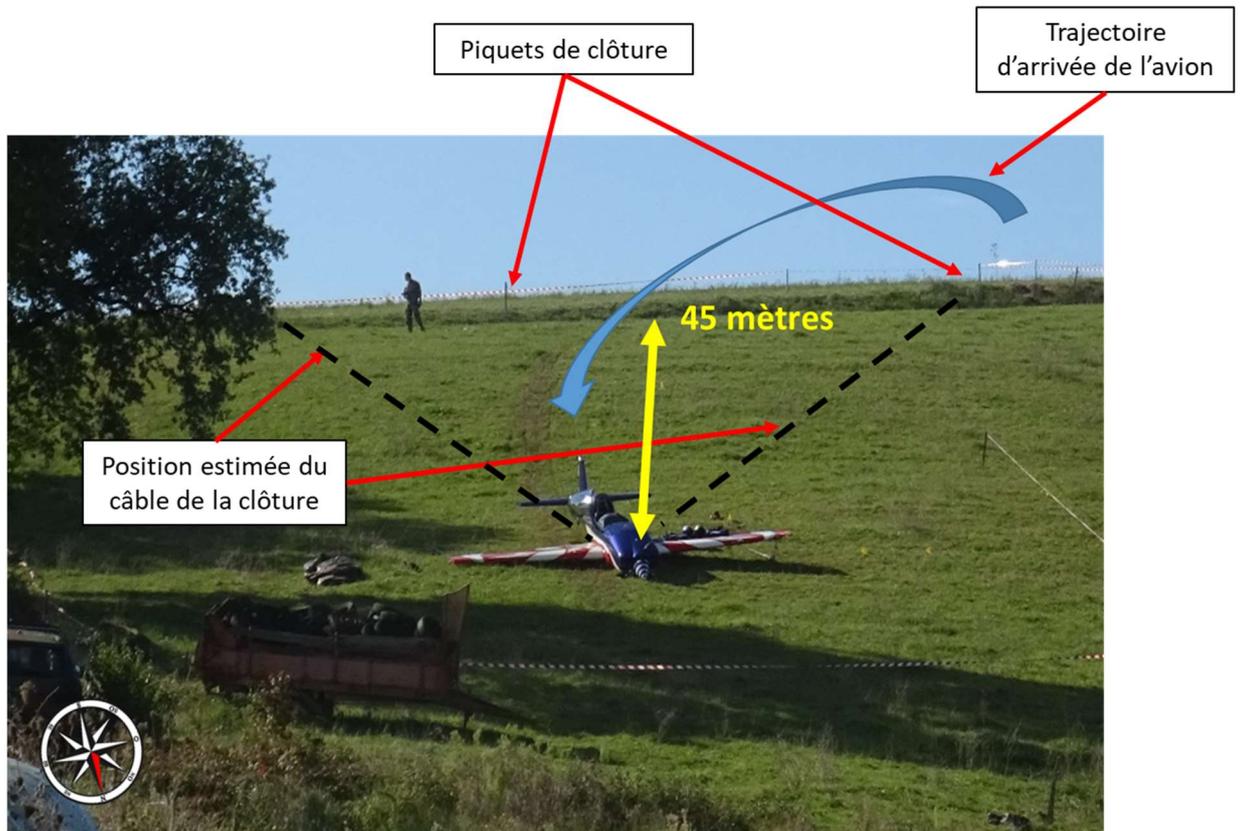


Figure 9 : vue de face de la zone de poser

Des traces au sol sont visibles dans deux zones distinctes : la première est observée sur la partie montante du champ selon un axe orienté à l'est. Ces traces s'interrompent avant le sommet du champ. La seconde zone se situe dans la pente selon un axe au 045° et comporte des traces formées de trois sillons partant du sommet du terrain jusqu'à l'endroit où l'avion s'est immobilisé. Une pollution du sol par le carburant est observée, quelques piquets de clôtures sont également brisés.

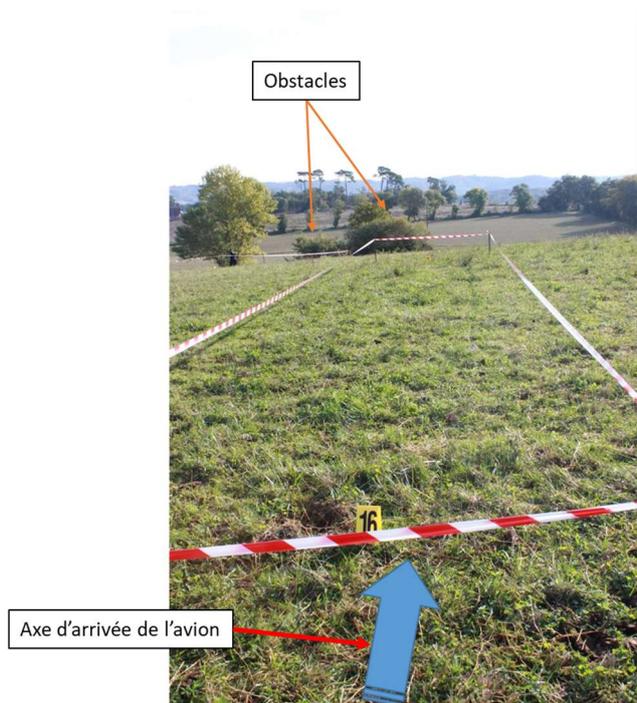


Figure 10 : première zone d'impact

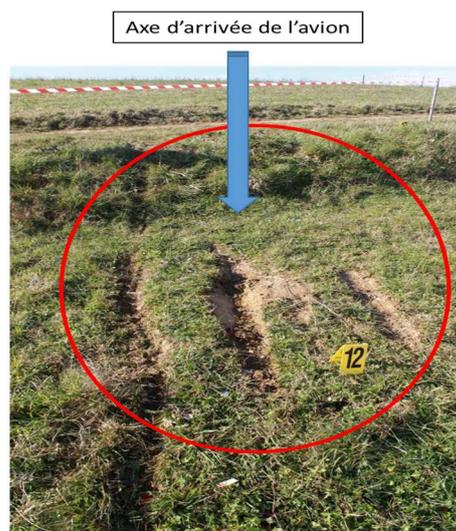


Figure 11 : deuxième zone d'impact

1.13. Renseignements médicaux

1.13.1. Pilote commandant de bord

- Dernier examen médical :
 - type : visite semestrielle à l'unité (VSU), du 29 septembre 2021 en référence⁸ de la visite en centre d'expertise médicale personnel navigant (CEMPN), en date du 24 mars 2021
 - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : légères

1.13.2. Mécanicien passager

- Dernier examen médical :
 - type : visite médicale périodique (VMP), en date du 28 octobre 2019
 - résultat : apte
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : légères

1.14. Incendie

Sans objet.

⁸ Référence : Instruction n°4000/DRHAA/SDEPRH-HP/BPECA du 20 avril 2017 relative aux normes médicales d'aptitude applicable au personnel militaire de l'armée de l'air et à la définition des standards d'aptitude médicale minimaux à requérir pour les emplois de personnel navigant.

1.15. Questions relatives à la survie des occupants et à l'organisation des secours

1.15.1. Abandon de bord

Après l'impact et l'arrêt de l'aéronef dans le champ, le pilote effectue des actions de sécurité puis demande au mécanicien passager d'évacuer l'avion. Ils s'éloignent de l'appareil tandis que les propriétaires du champ arrivent à leur rencontre.

1.15.2. Organisation des secours

L'évènement a eu lieu à 10h32 sur la commune de Berdoues. Le déclenchement des secours s'est fait par deux canaux différents. Les propriétaires de la ferme, d'une part, appellent le CODIS à 10h44, et l'équipage d'un des deux autres aéronefs de la patrouille, d'autre part, fait un compte rendu auprès du SIV Aquitaine info. Le PCB de l'appareil accidenté a ensuite appelé par radio ses équipiers pour signaler que son passager et lui-même étaient sortis par leurs propres moyens et qu'ils « allaient bien ». Un hélicoptère de la Gendarmerie de Tarbes a été initialement mis en alerte avant d'être annulé suite au bilan de santé de l'équipage accidenté.

Les premiers véhicules des pompiers sont arrivés sur place une dizaine de minutes après l'accident. Plusieurs camions sont engagés depuis la caserne de Mirande dont 2 VSAV⁹ (déclenchés à 10h48, départ à 10h56, arrivée à 11h09 sur le lieu de l'accident) et le SMUR¹⁰ 32 d'Auch arrive à 11h13 après 20 minutes de route.

Le pilote a bénéficié d'un premier examen dans le camion du SMUR tandis que le passager était dans un VSAV. À 12h16, le bilan pompier est le suivant : « les deux victimes sont indemnes ». Le pilote et le passager sont laissés sur place sous l'autorité de l'officier de police judiciaire (OPJ) afin de se rendre dans un cabinet de médecine générale à Masseube pour procéder à un examen médical et aux prélèvements sanguins habituellement pratiqués lors de l'ouverture d'une enquête judiciaire.

Le pilote et le passager sont ensuite rentrés vers Salon-de-Provence à bord du véhicule d'un des mécaniciens venus en soutien sur le meeting puis sont pris en charge par l'antenne médicale de la BA 701 de Salon-de-Provence.

1.16. Essais et recherches

L'exploitation des données des enregistreurs de l'aéronef a été réalisée par RESEDA.

L'expertise du moteur et de ses fluides a été réalisée par DGA EP.

L'expertise du carburant des aéronefs a été réalisée par le CEPIA.

L'expertise du système d'injection a été réalisée sous la supervision du BEA-É.

Une analyse des facteurs organisationnels et humains a été réalisée par le BEA-É.

1.17. Renseignements sur les organismes

1.17.1. Base aérienne 701

La BA 701 « Général Pineau » accueille l'école de l'Air et de l'Espace située à Salon-de-Provence depuis 1937. Tous les futurs équipages de l'armée de l'Air et de l'Espace y réalisent leurs premiers vols militaires d'instruction.

La base aérienne est le lieu de stationnement et d'entraînement de la patrouille de France et de l'équipe de voltige de l'armée de l'Air.

1.17.2. Équipe de voltige de l'armée de l'Air (EVAA)

L'EVAA est, depuis 1968, une des composantes de la représentation des savoir-faire des aviateurs de l'armée de l'Air. Depuis 2008, cette unité dispose de trois avions Extra 330 qui participent à différentes manifestations aériennes. Certains des pilotes sélectionnés participent aux compétitions nationales et internationales de voltige aérienne.

1.17.3. Aérotech PRO

La société Aérotech PRO est titulaire du marché de soutien de la flotte des Extra 330 de l'AAE depuis mai 2021. Son siège est situé à Aix-en-Provence. Elle est composée d'une équipe de techniciens qualifiés sur l'aéronef et qui assurent l'ensemble des opérations de maintenance.

⁹ VSAV : véhicule de secours et d'assistance aux victimes.

¹⁰ SMUR : structure mobile d'urgence et de réanimation.

2. ANALYSE

2.1. Expertises techniques

2.1.1. Analyse des fluides

Les prélèvements de carburant réalisés sur l'Extra 330/L biplace et sur les deux monoplaces sont conformes aux spécifications attendues pour de l'essence avion 100LL.

L'expertise chromatographique de l'huile montre que le produit utilisé est conforme à l'attendu.

Le carburant et l'huile sont conformes aux recommandations du constructeur.

2.1.2. Expertise du moteur et de l'hélice

Le Lycoming IO-580-B1A est un moteur 6 cylindres à injection, sans turbo, refroidi par air, certifié par l'EASA¹¹ en mai 2008. Le démontage du moteur a montré qu'il était en bon état mécanique avant l'évènement et qu'il a été correctement lubrifié. Les constats sur l'hélice confirment qu'elle tournait en moulinet¹² lors de l'atterrissage. Les trois pales d'hélice sont rompues à mi-longueur.

Les expertises n'ont démontré aucun dysfonctionnement du moteur préexistant à l'évènement. Tous les endommagements et les anomalies constatés sur le moteur et l'hélice sont consécutifs aux chocs subis lors de l'atterrissage en campagne.

2.1.3. Expertise du circuit carburant hors *fuel injector servo* (FIS¹³)

Le circuit carburant a été contrôlé par DGA EP depuis le filtre carburant avion jusqu'aux injecteurs. Aucune anomalie n'a été constatée.

Le circuit carburant, à l'exception du FIS, est fonctionnel.

2.1.4. Expertise du FIS

Le FIS est un dispositif qui permet de doser le carburant envoyé sous pression dans le moteur de l'avion. Il est constitué d'une membrane carburant, d'une membrane air et d'un axe relié à un clapet commandant le débit de carburant. Le FIS se situe entre la pompe carburant et les injecteurs. Le modèle de l'évènement est un RSA-10AD1 du constructeur Precision Airmotive Corporation.



Figure 12 : FIS, RSA-10AD1, du constructeur Precision Airmotive Corporation

¹¹ EASA : *European Aviation Safety Agency* – Agence européenne de la sécurité aérienne.

¹² Calage du pas de l'hélice correspondant à une traction négative (freinage aérodynamique) qui fournit un couple au moteur favorable à son redémarrage en cas de panne en vol.

¹³ FIS : *Fuel Injector Servo*, régulateur de carburant. Modèle RSA-10AD1.

2.1.4.1. Potentiel technique du FIS

Le FIS est sorti de révision générale en octobre 2015 après une remise à potentiel de type *factory overhaul*¹⁴ attesté par le certificat FAA n° P32R748N fourni par le constructeur. Cette opération de maintenance est matérialisée physiquement par l'apposition d'une plaque (plaque jaune) sur le FIS par l'organisme ayant assuré sa dernière révision. Sans que cela n'ait pu être formellement démontré, l'étude de la documentation technique disponible semble indiquer que ce bloc a été installé sur le moteur accidenté lors de sa révision générale en janvier 2016 puis avionné sur l'Extra 330/L en juillet 2017. La documentation constructeur¹⁵ du FIS, Precision Airmotive Corporation, indique qu'après révision générale, ce bloc doit disposer du même potentiel que le moteur sur lequel on souhaite l'installer.

Sans élément démontrant le contraire, ce FIS semble avoir 496 heures de fonctionnement. Le programme d'entretien aéronef¹⁶ (PEA) en vigueur prévoit une limite de fonctionnement à 1 400 heures ou 12 ans.

Le jour de l'évènement, le FIS disposait très probablement d'un potentiel restant d'environ 900 heures de fonctionnement ou 6 ans.

2.1.4.2. Expertise technique

Le FIS ne présente aucun endommagement extérieur. Les commandes du moteur sont correctement raccordées et libres. Les freinages et plombages sont en place. En revanche les tests d'expertise révèlent que le FIS ne délivre aucun débit carburant. En effet, il est constaté au démontage que l'axe de la membrane carburant est rompu. Il s'agit d'un axe en acier d'1,5 millimètre de diamètre.

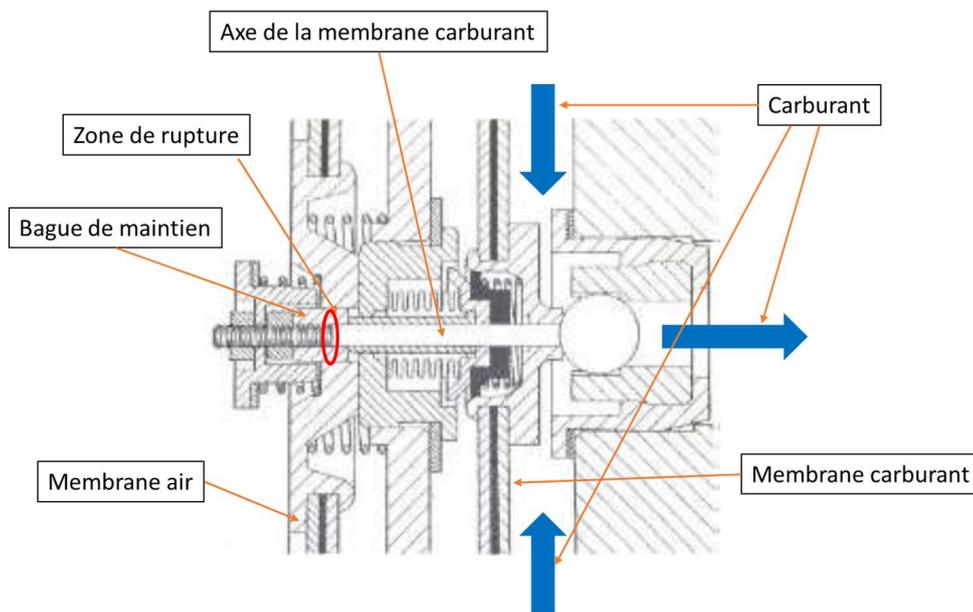


Figure 13: schéma en coupe du FIS modèle RSA-10AD1

¹⁴ *Factory overhaul* : révision générale en usine.

¹⁵ *Operation and service manual*. Manuel d'utilisation et d'entretien.

¹⁶ PEA validé n°504320/EMAA/GALNUC/BMR/NAV du 17/09/2015, approuvé par la DSAÉ par la décision n° 503614/DEF/DSAÉ/NP, édition n°02 amendement 01 au 01 janvier 2022.

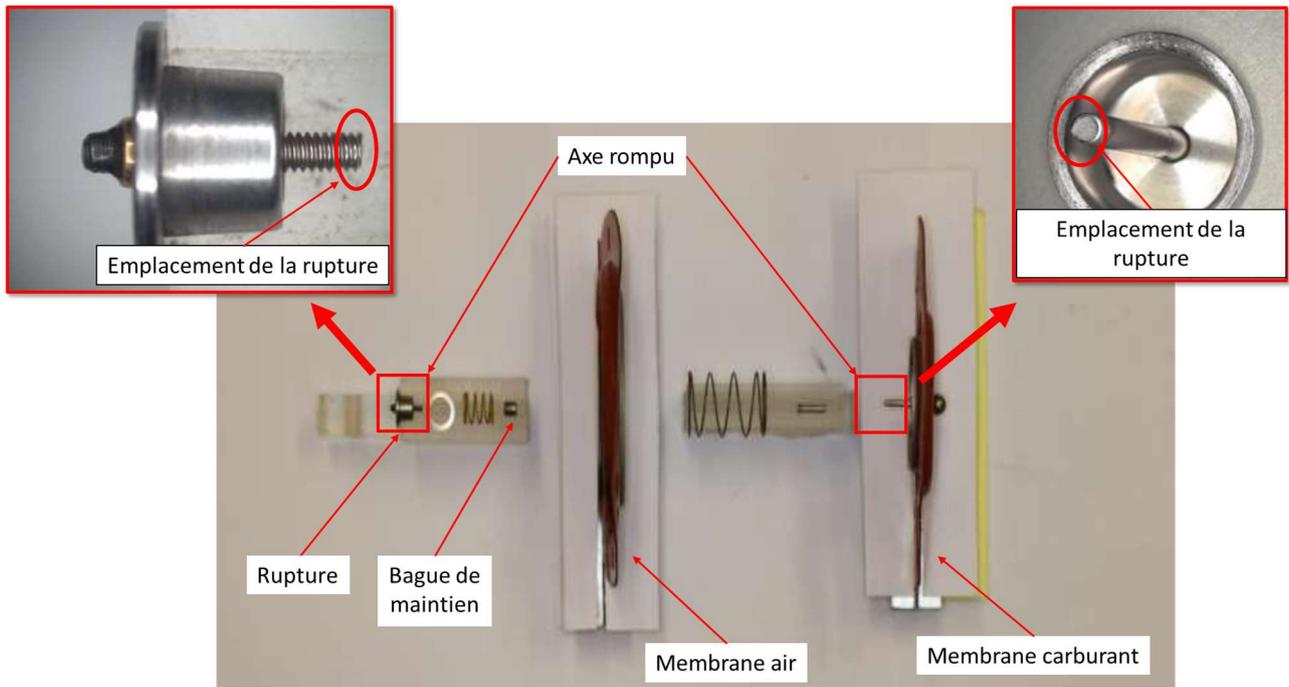


Figure 14 : vue éclatée de l'ensemble analysé

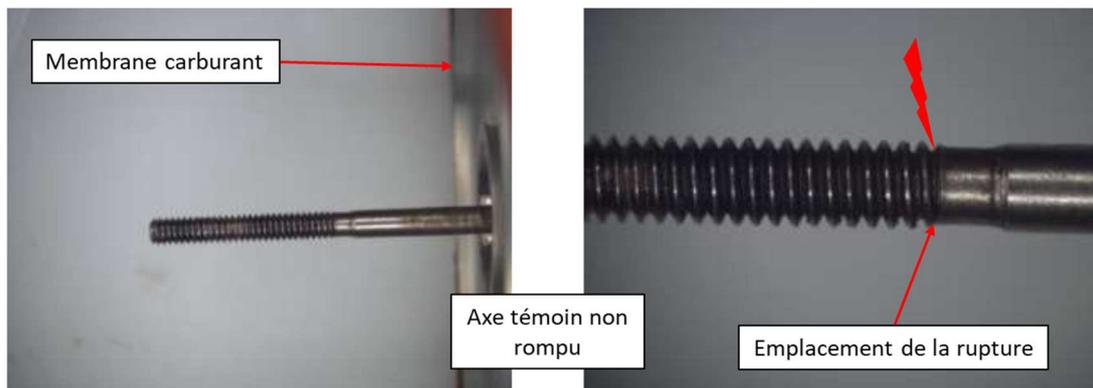


Figure 15 : comparaison entre l'axe du FIS de l'accident et un axe témoin identique

La rupture de l'axe a provoqué la fermeture du clapet d'arrivée carburant sous l'action des ressorts internes.

Le FIS ne délivre plus de carburant en raison de la rupture de l'axe de la membrane carburant.

2.1.4.3. Nature de la rupture de l'axe

L'observation à la loupe binoculaire des deux parties de l'axe de la membrane carburant rompu met en évidence un faciès de rupture de fatigue. La zone rompue débute au fond du premier filet du filetage de l'axe où se concentrent les contraintes. Le sens de la propagation des fissures est radial d'un côté à l'autre de l'axe. L'observation au microscope électronique à balayage (MEB) révèle la présence de stries de fatigue sur 95 % de la section rompue. La zone de rupture finale, opposée à la zone d'amorce et de faible surface, porte les marques d'une cassure brutale de type statique mais sous faible charge.

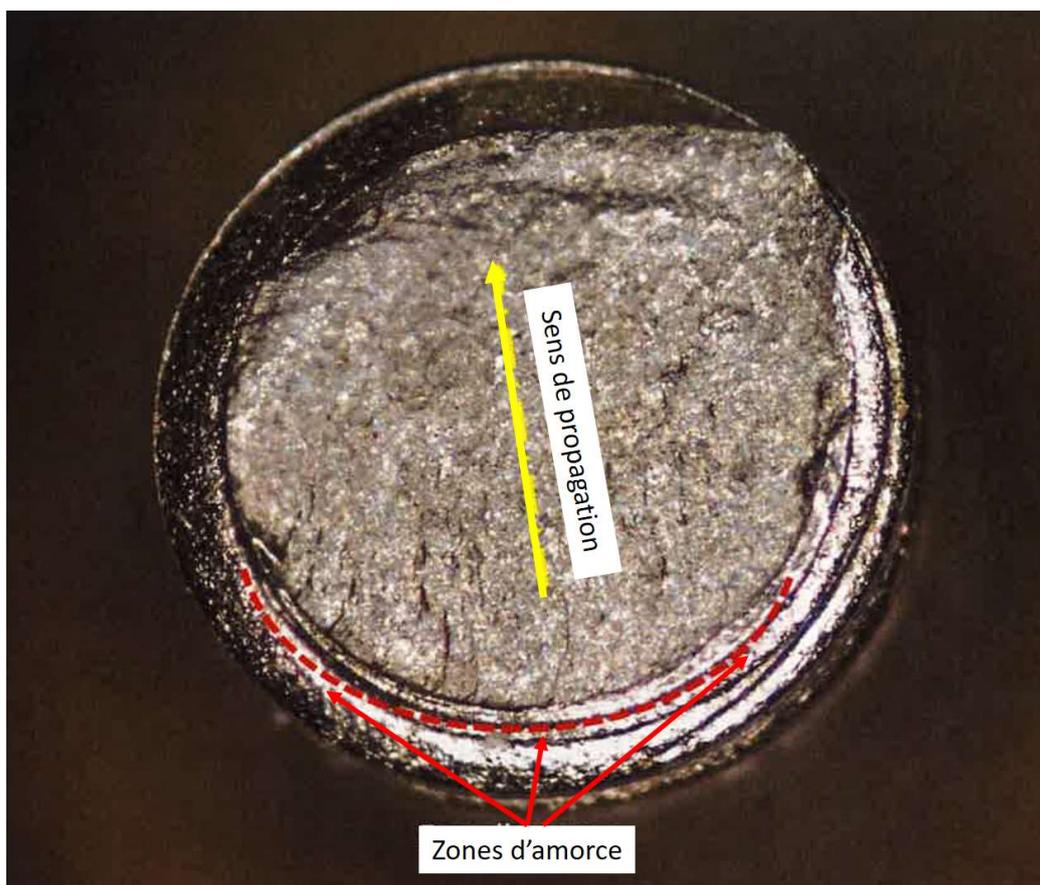


Figure 16 : vue de la rupture et des zones d'amorces à la loupe binoculaire



Vue au MEB
du faciès de
la rupture

Vue au MEB
de la zone de
rupture finale

Figure 17 : vues au MEB de la zone de rupture

La rupture de l'axe de la membrane carburant est due à une fissuration progressive dans le temps. Elle s'initie au fond du premier filet, sous faible charge.

2.1.4.4. Examen de la membrane air

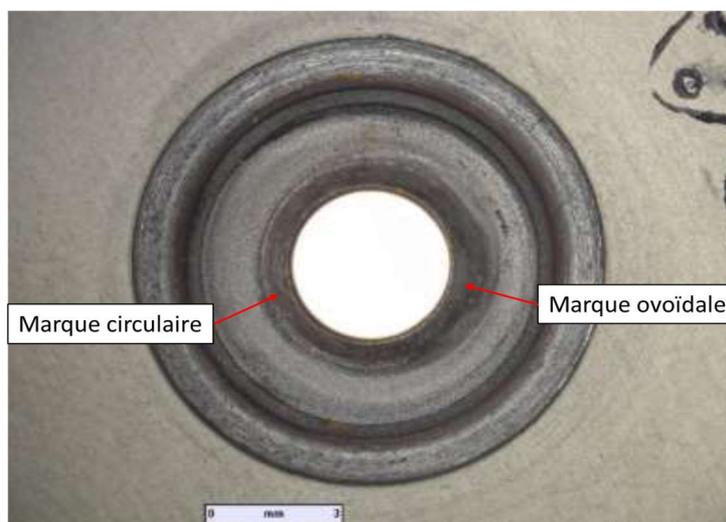


Figure 18 : déformation ovoïdale de la membrane air

L'observation de la membrane air révèle la présence de marques sur la face en vis-à-vis de la butée. Les marques ne sont pas symétriques. Elles présentent une forme circulaire sur la moitié de la circonférence et une forme ovoïdale sur l'autre partie.

Le pourtour de l'orifice central de la membrane air présente des marquages dissymétriques caractéristiques d'efforts en flexion.

2.1.4.5. Examen de la bague de maintien de l'axe rompu

Au voisinage de la zone de rupture, l'axe est maintenu par une bague de maintien (cf. figures 13 et 14) de forme cylindrique qui présente des faces internes à géométries différentes. Des marquages circulaires sont visibles sur la partie intérieure de la bague. Ces marques correspondent au pas du filetage de l'axe rompu.



Figure 19 : bague de maintien

L'axe de la membrane carburant est venu marquer la bague de maintien au voisinage de la zone de rupture. Cela est caractéristique d'un mouvement de flexion.

2.1.4.6. Examen des filets de l'axe rompu

Les quatre premiers filets de l'axe présentent, à leur sommet, des marques d'usure correspondant à l'emplacement des traces situées à l'intérieur de la bague de maintien. D'après les relevés réalisés, il existait un jeu de l'ordre de 5/100 mm entre l'axe et la bague de maintien (cf. figure 19). Ce constat a pu induire une sollicitation en traction-flexion sur l'axe.

L'axe de la membrane carburant a subi des efforts en traction-flexion.

2.1.5. Analyse des données de vol

2.1.5.1. Apparition de la panne

L'évènement est reconstitué à partir des données de l'enregistreur de paramètres et des témoignages du pilote et du passager. L'analyse des enregistrements ne révèle aucune anomalie durant tout le vol jusqu'au moment où la panne se produit soudainement, de telle sorte que le pilote ne pouvait pas l'anticiper.

À 10h31'30" (moment défini dans le reste du document comme T0), la puissance moteur diminue spontanément alors que l'avion est en vol stabilisé en palier. L'avion subit alors une décélération soudaine, ressentie comme un freinage aérodynamique par l'équipage car le régulateur du pas de l'hélice s'ajuste à cette perte de puissance moteur en diminuant le pas.

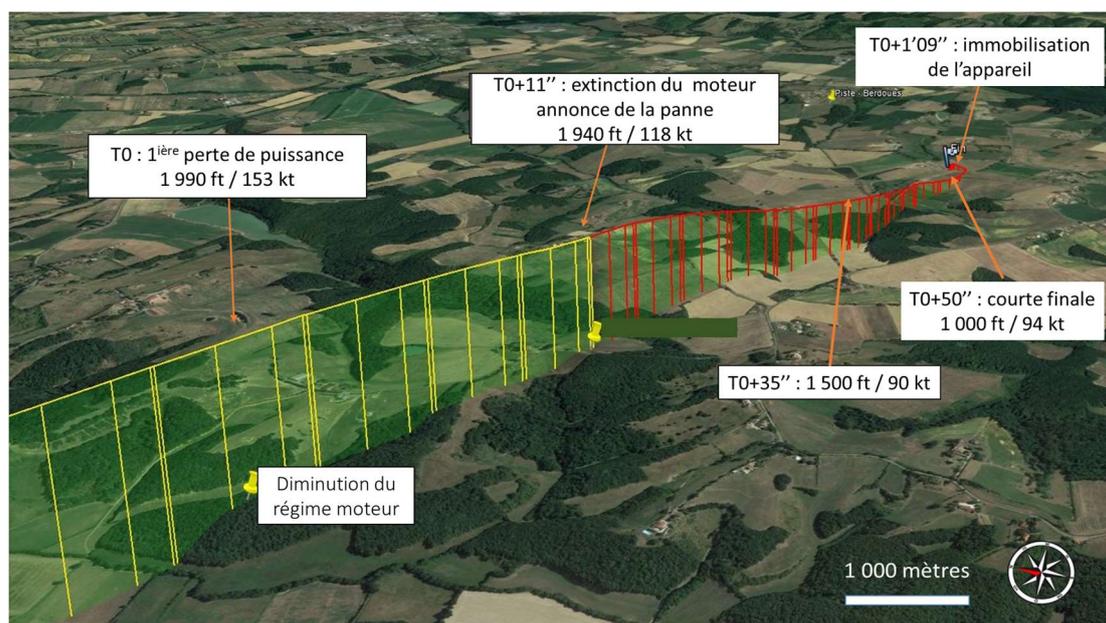
À T0+11'', une seconde baisse de puissance significative apparaît. La température des gaz d'échappement (EGT) chute de 300° ce qui signifie probablement l'arrêt du moteur. Le régulateur du pas de l'hélice passe alors en moulinet.

L'arrêt moteur n'est pas franc et immédiat. Il est précédé d'une perte de puissance durant 11 secondes avant son extinction.

2.1.5.2. Trajectoire d'approche finale

L'analyse de l'enregistreur de vol et le témoignage du pilote ont permis de reconstituer précisément les derniers instants du vol.

- à 10h31' : l'avion est en vol rectiligne en palier :
 - altitude : 1 990 ft (environ 1 000ft sol)
 - vitesse : 153 kt
- à 10h31'30'' c'est-à-dire T0 : première perte de puissance.
 - altitude stable à 1 990 ft
 - vitesse stable à 153 kt
- à T0 +2'' : le pilote vérifie les éléments de vol et que le circuit carburant est bien sur le réservoir central.
- à T0 +11'' : extinction du moteur. L'hélice passe en moulinet. Le pilote décide de réaliser un poser d'urgence. Il annonce à ses deux ailiers qu'il est en panne moteur et recherche une zone praticable.
 - altitude : 1 940 ft
 - vitesse : 118 kt
- à T0 +35'' : la vitesse est stabilisée autour de 90 kt et l'appareil se présente en finale sur un champ en pente montante.
 - altitude : 1 500 ft (hauteur 500 ft)
- à T0 +50'' : trajectoire en courte finale avant l'atterrissage.
 - altitude : 1 000 ft
 - vitesse : 94 kt
- à T0 +1'03'' : la vitesse diminue vers 55 kt. Un premier impact avec le sol est enregistré. L'appareil effectue un rebond et repart en vol.
- à T0 +1'05'' : l'avion heurte le sol une seconde fois à 90° du cap initial d'approche en accrochant la clôture périphérique du champ.
- à T0 +1'06'' : l'avion glisse dans la pente inclinée à -14° et s'immobilise 3 secondes plus tard.
- à 10h32'45'' : le pilote et le passager évacuent l'aéronef.



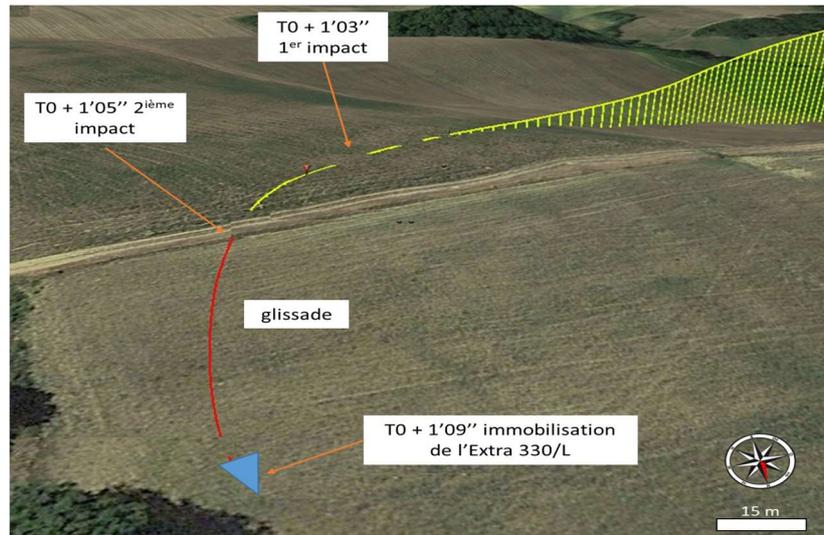


Figure 21 : trajectoire finale

La trajectoire est descendante depuis l'apparition de la perte de puissance. L'avion a perdu 1 000 ft sur une distance de 2 400 m. Sa vitesse d'approche reste stable vers 90 kt. L'avion s'immobilise au sol, 58 secondes après l'extinction du moteur en vol.

2.1.5.3. Analyse de l'impact

L'accéléromètre mécanique de cabine révèle que l'Extra 330/L a subi un facteur de charge vertical maximal de 10,2 g¹⁷ lors du vol. Le recoupement avec les données de l'enregistreur permet d'établir que cette accélération a été subie au moment du premier impact avec le sol, mais avec une amplitude bien plus importante estimée à 19 g par l'enregistreur numérique. Lors du premier impact, la vitesse de l'appareil était de 55 kt, c'est-à-dire 5 kt en-dessous de la vitesse de décrochage. L'avion a donc probablement décroché en très courte finale. La violence de l'impact pourrait expliquer l'endommagement des fixations du bâti-moteur, la rupture des attaches du siège avant, les blessures du passager et le rebond de l'appareil.

En très courte finale, l'avion a vraisemblablement décroché, avant d'impacter violemment le sol et de rebondir.

2.1.5.4. Aérodrome de secours

Au moment de l'extinction du moteur en vol, l'appareil se situe à 3 800 m du terrain de Berdoues. Une simulation à partir des performances optimales en vol plané de l'Extra 330 donne le résultat suivant.

Hypothèses de départ :

- Dès l'arrêt définitif du moteur, le pilote effectue un cabré pour rechercher la vitesse optimale de plané de 90 kt, puis maintient une trajectoire directe vers la piste ;
- La finesse de l'appareil présente un coefficient de 6,2 à 90 kt ;
- La composante arrière du vent est estimée à 10 kt.

Dans ces conditions, la distance théorique maximale franchissable est de 3 100 m. Or, le jour de l'évènement, l'appareil a parcouru 2 400m, soit 700 m de moins. Le fait de cabrer l'avion dès l'apparition de la panne aurait donc permis au pilote de franchir une plus grande distance. Cependant, celle-ci n'aurait pas été suffisante pour atteindre le terrain de Berdoues.

Dans les conditions du jour de l'évènement, et après l'extinction du moteur, l'aérodrome de Berdoues ne peut pas être atteint.

¹⁷ g : unité d'accélération, par convention 1g = 9,81 ms⁻². Le g est la valeur de la pesanteur à la surface de la Terre. Pour l'évènement, l'avion a subi une accélération équivalente à 10,2 fois l'apesanteur normale sur Terre.

2.1.6. Examen des équipements de vol et de protection individuelle

En plus d'une combinaison de vol et de gants, le pilote et le passager sont équipés d'un casque et d'un parachute dorsal individuel. Seuls leurs casques ont été endommagés dans l'accident. Le pilote et le passager indiquent s'être correctement attachés à leur siège avec le casque ajusté (jugulaire en place et serrée). Le passager avait ses visières relevées.

2.1.6.1. Équipement de tête du pilote

Le casque du pilote présente des traces d'impact sur l'avant et le côté droit et quelques éraflures à l'arrière. Sur la partie frontale, le rebord du casque est rompu à deux endroits. Sur le côté droit, une éraflure est présente au bas du casque au niveau de la joue. Le mécanisme de mouvement de la visière est inopérant. Ces détériorations n'étaient pas présentes avant l'évènement.



Figure 22 : vues des détériorations du casque du pilote

Au moment de l'impact, le casque du pilote a probablement heurté l'habitacle de l'avion sur l'avant et à droite. Cette hypothèse est cohérente avec la trajectoire de l'aéronef après le premier impact au sol (virage à gauche créant une force centrifuge à l'opposé de la trajectoire) et les dommages constatés sur la verrière, partiellement brisée en place arrière (cf. figure 4). Une reconstitution statique de la position du pilote installé sur son siège a démontré cette possibilité.

Lors de l'impact au sol, la tête du pilote a probablement violemment heurté la partie droite de la verrière de l'aéronef.

2.1.6.2. Équipement de tête du passager

Le casque du passager montre une détérioration sur sa partie supérieure. On note aussi que la visière s'est désolidarisée du casque au niveau de l'articulation gauche. Au moment de l'impact, il est probable que le dessus du casque ait heurté l'habitacle de l'avion et que la visière fumée, initialement en position relevée, se soit rabattue vers l'avant compte-tenu de la décélération brutale. Celle-ci a pu alors provoquer la contusion observée par le médecin au niveau de l'arrête nasale du passager.

Les traces sur le casque du passager et son état général confirment l'hypothèse selon laquelle sa tête a subi un choc à forte énergie verticale et vers l'avant.

2.2. Séquence de l'évènement

La séquence de l'évènement, telle qu'elle a pu être établie à partir des analyses, est la suivante. Après 31 minutes et 30 secondes de vol rectiligne en vitesse de croisière à une altitude de 1 500ft puis 2 000ft, l'axe de la membrane du régulateur de carburant de l'Extra 330/L se rompt provoquant une perte brutale de puissance moteur. Supposant un problème d'alimentation en carburant sans en mesurer toute la gravité, le pilote maintient sa trajectoire et tente de résoudre la panne. 11 secondes plus tard, le moteur, n'étant plus alimenté en carburant, se coupe définitivement. Le pilote se résout à un atterrissage forcé. Il dirige l'appareil en vue de le poser dans un champ en légère montée. Décrochant probablement en très courte finale, l'avion impacte violemment le sol et rebondit. Réalisant alors que la distance disponible ne sera pas suffisante pour arrêter l'appareil avant les obstacles, le pilote actionne les commandes pour dévier sa trajectoire de 90° et l'avion impacte une seconde fois le sol. Sous l'effet des chocs successifs, le pilote et le passager heurtent avec leurs casques l'habitacle de l'avion. Le train d'atterrissage se brise, l'appareil glisse dans la pente et s'arrête en moins de 50 mètres.

2.3. Recherche des causes de l'évènement

Les causes de l'évènement relèvent du domaine technique, du domaine des facteurs organisationnels et humains, et du domaine environnemental.

2.3.1. Fonctionnement du moteur après la première perte de puissance

Une première perte de puissance est constatée à T0 (10h31min30sec) lorsque le bloc d'injection coupe l'alimentation en carburant en provenance du réservoir. Le moteur continue cependant à fonctionner pendant 11 secondes avant de se couper définitivement. Par ailleurs, il a été démontré lors de manœuvres réalisées au sol que ce délai correspond au temps nécessaire pour consommer le carburant encore présent dans la partie du circuit carburant en aval du bloc, alors que l'alimentation générale est coupée.

Le temps de consommer le carburant résiduel, la défaillance du FIS provoque l'extinction du moteur en quelques secondes.

2.3.2. Causes de la rupture de l'axe de la membrane carburant

2.3.2.1. Pré-fragilisation de l'axe

L'axe de la membrane carburant s'est rompu en fatigue à partir d'une amorce au fond du premier filet. Afin de mieux comprendre la dynamique de la rupture, des examens micrographiques d'un axe identique mais non accidenté ont été menés et ont donné les résultats suivants :

- Le filetage de l'axe est le résultat d'un usinage ;
- Des défauts sont constatés uniquement au niveau du premier filet :
 - un repli de métal au fond du filet ;
 - un creux dans la matière sur le flanc du filet.

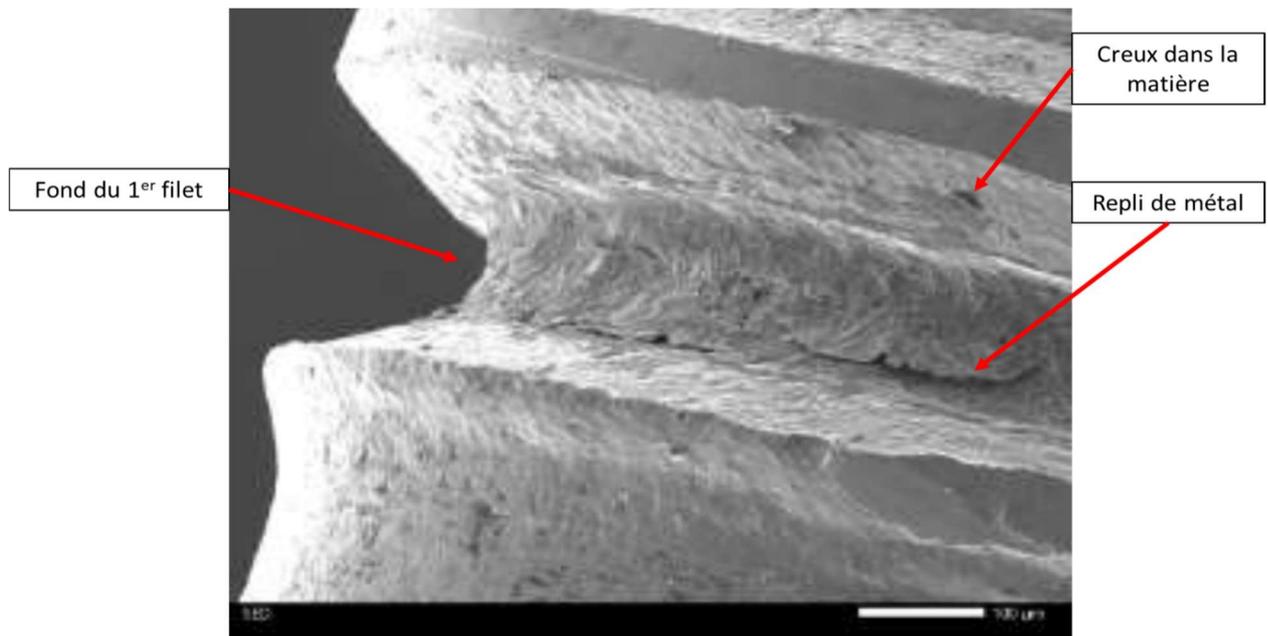


Figure 23 : aperçu du premier filet d'un axe témoin

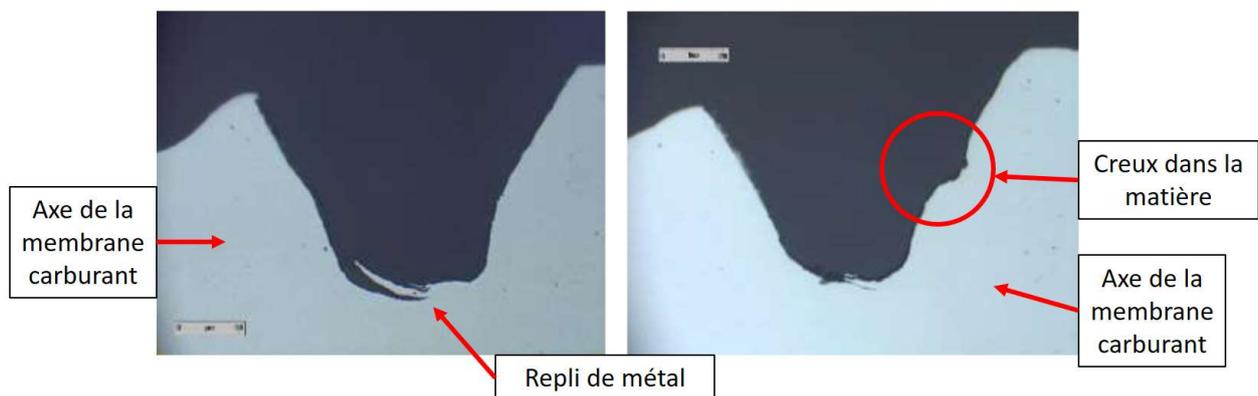


Figure 24 : coupe transversale d'un axe témoin

Des essais de dureté effectués sur des axes similaires n'ont pas permis d'identifier de faiblesses évidentes. Cependant, ces défauts témoignent d'une technique de production qui aurait pu créer une pré-fragilisation structurelle au fond du premier filet.

Il est possible que l'axe de la membrane carburant ait été fragilisé lors de sa production en raison du mode de réalisation du filetage.

2.3.2.2. Effets contributifs

2.3.2.2.1. Contraintes sur l'axe

L'axe de la membrane carburant est fixé à son extrémité par deux écrous dont un serrage excessif pourrait l'exposer à une tension axiale anormale. Par ailleurs, il a été établi que cette pièce a subi des chargements en traction et en flexion. Ces efforts combinés appliqués à un axe pré-fragilisé ont pu amorcer la propagation d'une fissure. Ce phénomène apparaissant sous faible charge peut conduire lentement à une rupture en fatigue selon un faciès compatible avec les observations réalisées sur l'axe de l'accident.

Le mode de chargement en traction-flexion appliqué à un axe potentiellement usé a pu aggraver une amorce de fissure qui s'est propagée lentement en fatigue.

2.3.2.2.2. Suivi du potentiel de l'axe de la membrane carburant

Le FIS a été révisé en 2015 avec une remise en potentiel maximal lors d'une opération *factory overhaul* chez le fabricant. L'exploitation de la documentation constructeur¹⁸ révèle que, lors de cette révision, l'écrou de serrage interne de l'axe et les deux membranes sont remplacés systématiquement. En revanche, l'axe peut être conservé sans être remplacé alors que d'autres éléments internes du FIS le sont. L'enquête n'a pas pu déterminer si l'axe impliqué dans l'accident a été remplacé en 2015, car il n'est pas exigé de suivi de cet axe qui est pourtant un élément déterminant dans le fonctionnement du moteur. Ainsi, cette pièce aurait possiblement été assemblée avant 2015 et aurait fonctionné environ 1 900 heures avant sa rupture.

Dans le suivi du vieillissement de l'axe de la membrane carburant, un doute subsiste sur son temps réel de fonctionnement.

2.3.3. Gestion de l'atterrissage forcé en campagne

Il a été établi que l'avion, alors en panne moteur, a décroché à proximité du sol ce qui a provoqué son rebond et des dégâts importants.

2.3.3.1. Difficultés à conduire la manœuvre

2.3.3.1.1. Zone de poser d'urgence

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

La position de pilotage en place arrière réduit la visibilité vers l'avant lors de l'atterrissage. Plus la vitesse en phase d'atterrissage diminue et plus le pilote relève le nez de son avion pour le poser. De plus, en raison de la configuration « train classique » de l'Extra 330, cette assiette importante doit être maintenue pour le poser de l'appareil.

Pour un atterrissage sur une piste classique, la restriction du champ visuel vers l'avant, lors de l'atterrissage, est compensée par l'utilisation de repères visuels extérieurs situés en position latérale. L'évaluation de la hauteur est ainsi sensiblement altérée. Pour contrer cette difficulté, la technique utilisée consiste à appliquer volontairement un léger dérapage en décalant le nez de l'avion vers la gauche ou la droite de sa trajectoire. Ainsi le visuel de l'axe d'atterrissage et le point d'aboutissement sont conservés. Le maintien de cette position est annulé juste avant l'arrondi, ce qui permet de mieux évaluer le point d'aboutissement et la hauteur d'arrondi. L'importance de cette manœuvre varie en fonction de la largeur de piste. Sur une piste large (de l'ordre de 40 m), comme la piste de la BA de Salon-de-Provence, utilisée principalement par le PCB, la prise de repères est facilitée. Le PCB effectue des atterrissages sur la BA sans manœuvre particulière, car il pratique cette piste quotidiennement et les différents repères lui sont très familiers. Même si en courte finale la visibilité vers l'avant se trouve réduite, la piste reste parfaitement visible sur les côtés, il peut donc continuer à piloter son point d'aboutissement et juger la hauteur d'arrondi sans aucune difficulté.

L'évènement est un atterrissage dit en « campagne », dans un environnement vallonné, avec une forêt en premier plan puis le champ en pente ascendante prononcée. Ce dernier présente une distance disponible très courte pour le poser et l'arrêt de l'avion, sans dégagement ni possibilité de remise de gaz en l'absence de puissance moteur disponible.

Par ailleurs en très courte finale, le PCB a une visibilité réduite vers l'avant, quasiment plus aucun repère sur les côtés et ne peut donc plus visualiser son point d'aboutissement choisi pour l'atterrissage forcé. En conséquence, la hauteur à laquelle il doit arrondir pour poser l'avion apparaît difficilement appréciable. De plus, tout au long de la descente vers ce point d'aboutissement de trajectoire, l'avion subit un effet de vent venant de l'arrière augmentant d'autant sa vitesse sol pour l'atterrissage. Cette composante de vent de l'ordre de 10 kt tend à prolonger la trajectoire de l'avion au-delà du point d'aboutissement choisi par le pilote et favorise un phénomène de décrochage au plus proche du sol expliquant l'appréciation erronée de la trajectoire finale. Ainsi, l'avion est venu impacter le sommet du champ au lieu du point d'aboutissement choisi.

¹⁸ *Component maintenance manual.*

La combinaison des particularités de l'avion Extra 330/L et d'un atterrissage forcé dans un environnement vallonné avec peu de repères a contribué à complexifier cette manœuvre d'urgence.

2.3.3.1.2. Ergonomie de la cabine de l'Extra 330/L

La visibilité de l'environnement extérieur est très limitée sur l'Extra 330/L biplace en monopilote, avec le pilote assis en place arrière. La vue du pilote est à la fois masquée par le siège et par la personne assise à l'avant. De plus, le capot moteur est très haut et long ce qui amplifie encore le manque de visibilité à droite et à gauche de la verrière.

L'information perçue étant limitée, l'élaboration d'une conscience de situation par le pilote ne peut donc qu'être partielle et dépend des informations qu'il parvient à percevoir.

L'ergonomie de l'Extra 330/L associée à la position du pilote en place arrière a entravé la perception de l'environnement extérieur du pilote contribuant à une appréciation erronée du point d'aboutissement de la trajectoire finale.

2.3.3.1.3. Biais d'habitude

Habitué à exécuter des figures de voltige, le pilote concentre son regard principalement à gauche de l'appareil, car compte tenu des caractéristiques de l'avion, les évolutions se font principalement par la gauche. Ainsi, lors de l'évènement, pour percevoir son environnement, le pilote porte son attention principalement sur la gauche de l'avion. En situation d'urgence, le pilote agit par habitude vers la gauche. Dans la partie gauche du champ après le rebond, la zone finale de l'atterrissage d'urgence apparaît pourtant moins favorable qu'à droite.

Le biais d'habitude peut avoir contribué à la manœuvre vers la gauche après le rebond.

2.3.3.2. Contexte de la mission

2.3.3.2.1. Fatigue de fin de saison

Le vol concerné par l'évènement est un convoyage des avions vers la base de Salon-de-Provence après le dernier meeting aérien d'une saison intense. Le pilote a enchaîné successivement deux meetings durant la semaine, avec des élongations importantes entre les deux sites (Orange et Saint-Jean-de-Luz).

Dans ces conditions, il est possible qu'il ait accumulé une fatigue au cours des jours précédant l'évènement, ce qui a pu contribuer à une éventuelle baisse des performances cognitives favorisant la survenue de l'erreur d'appréciation du point d'aboutissement de la trajectoire.

Une fatigue associée à la fin de la saison des meetings aériens a pu favoriser une baisse des performances cognitives du pilote.

2.3.3.2.2. Sentiment de maîtrise

Habitué à des vols exigeants, ce convoyage est perçu par le pilote comme un vol sans difficulté. D'ailleurs, la proposition faite au mécanicien de prendre les commandes durant quelques minutes confirme le sentiment d'aisance du pilote au regard de la situation. Leader de patrouille, il est le plus expérimenté des pilotes de son unité. Ce sentiment de maîtrise peut avoir contribué à une mobilisation mesurée de son attention avant et pendant le vol.

La simplicité de la mission en comparaison des vols précédents et la forte expérience du pilote peuvent avoir favorisé un sentiment de confiance à l'origine d'une mobilisation mesurée de son attention avant la survenue de la panne.

2.3.3.3. Processus de décision

2.3.3.3.1. Préparation de la mission retour

Les pilotes se retrouvent à l'aéroport de Biarritz Pays Basque aux alentours de 8h15 pour préparer le vol. La mission, considérée comme simple, ne donne pas lieu à un briefing détaillé. Les conditions météorologiques sont actualisées et le trait de navigation est succinctement présenté aux trois pilotes. La hauteur de vol pour cette mission est annoncée à 3 000 ft, ce qui, au vu de la trajectoire théorique, permet de transiter en sécurité et d'avoir une marge suffisante pour s'affranchir des particularités des différentes zones aéronautiques et aérodromes potentiellement approchés durant cette mission retour. Les aérodromes de secours en cas de panne moteur ne sont pas évoqués lors de cette préparation.

Le pilote a préparé sa mission retour à l'aide d'une tablette de navigation personnelle. Les deux équipiers de la patrouille ont tracé leur navigation sur des cartes aéronautiques papiers.

Comme habituellement, la navigation en vol est réalisée par le leader qui est suivi des deux autres aéronefs. Bien que l'altitude de vol ait été annoncée à 3 000 ft, le vol débute à une altitude de 1 500 ft puis à 2 000 ft. Les équipages ne semblent pas percevoir la diminution des marges de sécurité pourtant souhaitées lors de la préparation de la mission.

Au moment de la panne, la patrouille est à 3 800 mètres de distance du terrain privé de Berdoues. Aucun des pilotes n'évoque la possibilité de tenter de rejoindre cet aérodrome de secours. Une simulation effectuée à partir des performances optimales de l'appareil démontre néanmoins que ce n'était pas possible à cette altitude (cf. 2.1.5.4.).

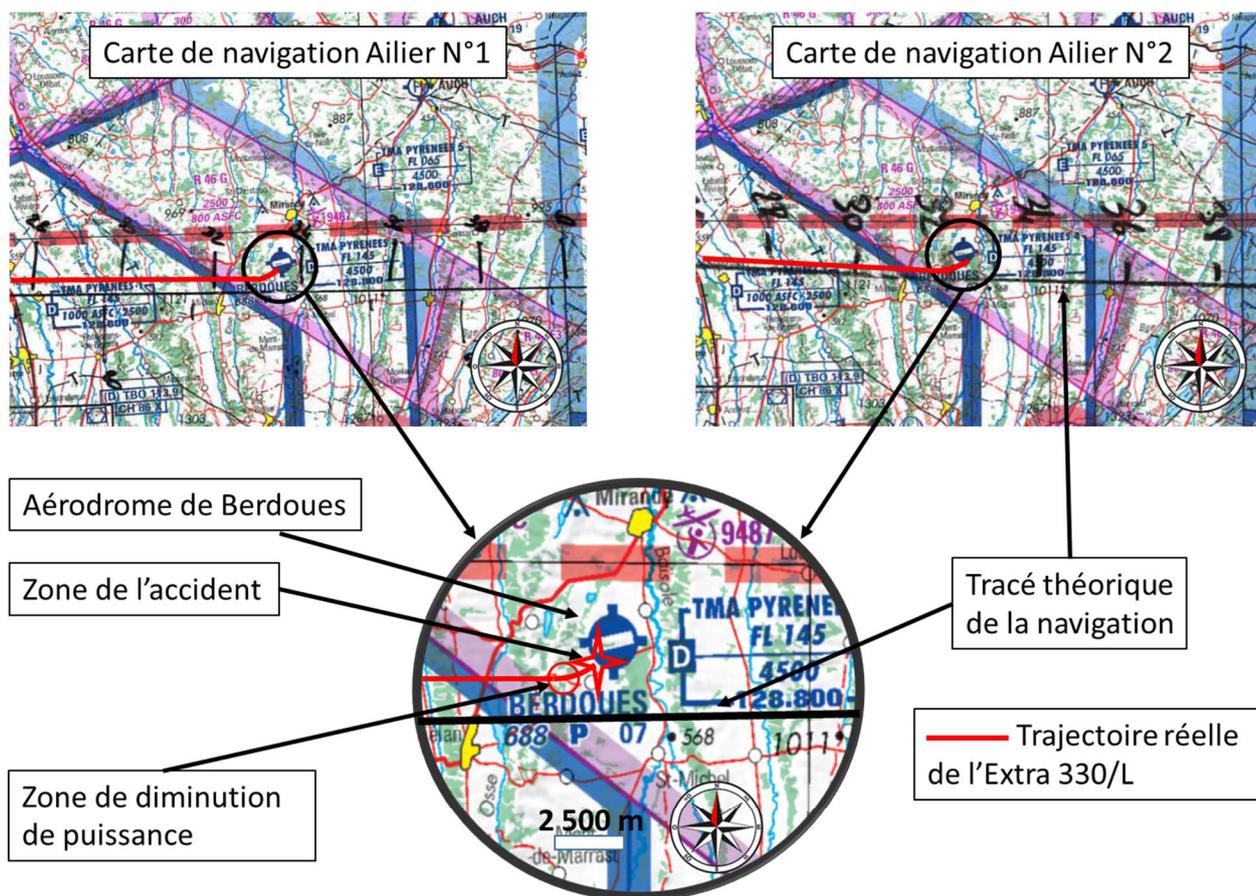


Figure 25 : extraits du tracé de navigation des ailiers

La préparation allégée de la mission associée à la modification de l'altitude de vol a contribué à réduire les marges de manœuvre du pilote en situation dégradée.

2.3.3.3.2. Pression temporelle

Au moment de la première diminution de puissance moteur, l'Extra 330/L vole à une hauteur proche de 1 000 ft sol, ce qui représente une hauteur assez faible dans une perspective de panne moteur. Le mécanicien est aux commandes en place avant. Surpris par la panne, le pilote reprend immédiatement les commandes. À cette hauteur, le taux de descente d'environ 700 ft/min génère un sentiment de pression temporelle. Dans ce contexte, les capacités cognitives peuvent être diminuées, car cette situation laisse très peu de temps au pilote pour définir et appliquer un schéma d'action lui permettant de se poser en toute sécurité.

La région autour de Ponsampère comporte une succession de petites vallées, de forêts et de champs vallonnés. Le terrain survolé au moment de la panne n'est donc pas propice à un atterrissage forcé, en particulier pour un appareil comme l'Extra 330/L dont la vitesse en finale, proche des 80 kt, est importante et dont le train classique risque de provoquer un basculement de l'avion sur l'avant au moment de l'impact.

Quand le moteur finit par s'arrêter, le pilote envisage également l'évacuation de bord au moyen des parachutes individuels. Cependant, prenant en compte l'inexpérience de son passager, en particulier pour une évacuation à si basse hauteur, cette option est rapidement abandonnée. Le PCB met en œuvre un fonctionnement cognitif de type réflexe/semi-automatique.

La hauteur de vol associée à la surprise de la panne provoque une pression temporelle ressentie par le pilote qui a pu contribuer à accroître les difficultés à conduire cette manœuvre délicate d'atterrissage en campagne.

2.3.3.3. Entraînement au poser en campagne

Pour les pilotes de l'EVAA, les procédures de panne moteur avec atterrissage forcé en campagne sont travaillées exclusivement avec les avions Cirrus SR20 et SR22. Le poser en campagne est réalisé au travers d'exercices dans des champs, avec désignation d'un point d'aboutissement précis. Les entraînements avec les Extra 330 se font exclusivement dans le box de voltige, à la verticale de la piste de la BA 701 de Salon-de-Provence. Les pilotes connaissent donc les pistes de la base et ne procèdent pas à un réel processus d'analyse visant à choisir la zone d'atterrissage la plus adaptée. Par ailleurs, ils n'ont pas de critère d'aide à la décision du choix du champ.

Les informations concernant l'entraînement du pilote aux procédures d'atterrissage forcé et d'entraînement à la panne moteur en campagne sont difficilement traçables. Cependant, pendant le vol de qualification SEP, le pilote a pu restituer une procédure de panne moteur en campagne. Pour l'année 2021, le pilote déclare avoir reproduit au moins sept procédures de panne moteur au cours de séances de voltige dans les six derniers mois avant l'évènement. Ces vols se déroulent au-dessus de la base aérienne de Salon-de-Provence.

Comme les exercices de panne moteur, les exercices de prise de terrain en campagne ne sont pas comptabilisés. Il est donc impossible d'établir la régularité des séances ni à quand remonte la dernière séance.

Un entraînement exclusif sur des zones connues, sans véritable processus d'analyse et sans critère défini d'évaluation des volumes d'évolution du champ, peut avoir limité l'aisance du pilote de l'EVAA lors de la réalisation de cet atterrissage réel en campagne.

2.4. Traitement de la panne

La procédure de panne moteur en vol est une procédure d'urgence définie par le constructeur dans le manuel de vol et qui fait partie d'un ensemble d'actions critiques définies dans les consignes permanentes d'instruction du personnel navigant (CIPN¹⁹) sous forme de CAPS²⁰. Le témoignage du pilote décrit des actions conformes avec la procédure et rien dans l'examen de l'épave ou l'exploitation des enregistrements ne permet d'établir un écart dans l'application de cette procédure. Du fait de la nature de la panne, il était impossible de rallumer le moteur en vol.

La procédure d'urgence, bien que correctement appliquée, ne pouvait résoudre la panne d'alimentation en carburant.

2.5. Éléments dissociés de l'évènement mais ayant trait à la sécurité

2.5.1. Gestion des secours et prise en charge de l'équipage

Le déclenchement des secours a été rapide et les moyens engagés sont adaptés à la situation. Le vecteur aérien mis en alerte initialement a été annulé à la suite d'un compte-rendu du bilan de santé de l'équipage réalisé par l'un des équipiers.

Selon les protocoles usuellement mis en œuvre concernant la prise en charge des traumatisés sévères, toute victime d'accident à haute vitesse²¹ est considérée comme polytraumatisée jusqu'à preuve du contraire et nécessite une prise en charge dans une structure hospitalière dédiée à l'accueil des patients traumatisés sévères, (« *trauma-center* »). Ces structures disposent en effet d'un plateau technique de chirurgie, de réanimation et d'imagerie avec, notamment, la réalisation systématique d'un scanner permettant de dépister

¹⁹ Titre C EXTRA 330 N°051/CFA/EM/BAAC/DR du 20 avril 2020.

²⁰ CAPS : *critical action procedures*, procédures d'urgence critiques à connaître de mémoire.

²¹ Référence : Collège des enseignants de médecine intensive réanimation (CEMIR) (cf. critères de Vittel, tableau 40.1, Polytraumatismes, CEMIR).

des lésions²². Cette filière de soins spécifique à la prise en charge des patients traumatisés sévères a été mise en place pour éviter les décès suite à l'absence ou à un retard de diagnostic.

Dans les heures qui ont suivi l'accident, le passager a conduit une voiture sur une partie du voyage retour, ignorant les risques possibles de décompensation de lésions qui n'auraient pas été diagnostiquées par l'équipe médicale pré-hospitalière sur le site.

La décision de l'équipe médicale du SMUR de laisser sur place les victimes après un accident à haute énergie cinétique est non conforme aux recommandations en la matière.

Sur le plan médical, les victimes d'un événement aérien grave sont à considérer comme des traumatisés sévères, nécessitant la réalisation d'un bilan spécialisé approfondi.

2.5.2. Vol à hauteur des circuits d'aérodrome

Un circuit d'aérodrome ou tour de piste, est une trajectoire que doit effectuer un aéronef en vol à vue aux abords d'un aérodrome pour atterrir dans des conditions normales de sécurité. La hauteur de vol généralement utilisée pour ces circuits d'aérodrome est de 1 000 ft sol. Plusieurs étapes allant du décollage à l'atterrissage permettent d'évoluer et de se situer dans l'espace autour d'une piste d'aérodrome.

Le passage à proximité immédiate d'un circuit d'aérodrome doit être annoncé par un message radio afin que les usagers potentiels soient avertis.

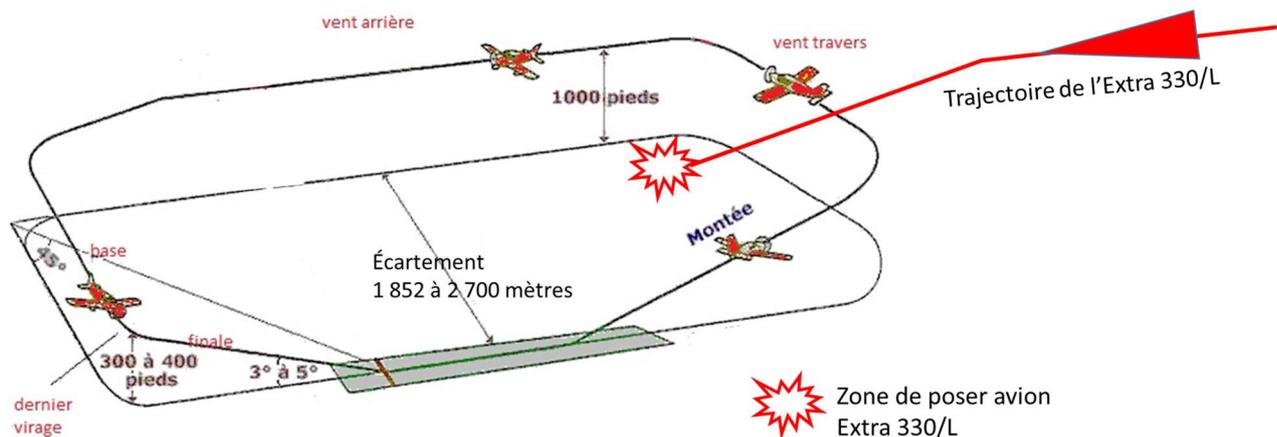


Figure 26 : circuit d'aérodrome standard.

En navigation aérienne, outre le positionnement, la principale tâche recherchée est l'anti-abordage.

L'altitude de vol de 2 000 ft choisie par le leader fait transiter les avions de l'EVAA à la hauteur moyenne des aérodromes qu'ils vont potentiellement approcher. Lorsque l'événement survient, l'Extra 330/L du leader est à proximité immédiate de l'aérodrome privé de Berdoues. Cette altitude correspond à une hauteur d'environ 1 000 ft sol. Au début de la perte de hauteur, l'avion se trouve à une distance de 3 800 mètres de la piste. Cette distance et cette position dans l'espace laissent entrevoir une situation conflictuelle potentielle, si d'autres aéronefs avaient été présents dans le circuit de piste de cet aérodrome.

Il se trouve que la hauteur du circuit de piste de l'aérodrome de Berdoues est de 700 ft sol. La trajectoire finale en descente vers le champ où s'arrête l'avion accidenté se situe dans le circuit de piste et plus précisément sous la trajectoire de la vent arrière. Aucune communication radio vers les usagers potentiels de cet aérodrome n'est faite car l'équipage n'a pas conscience de cette proximité. Cette situation crée un risque potentiel d'abordage.

La non conscience du passage à proximité des aérodromes, notamment celui de Berdoues, a potentiellement créé une situation conflictuelle et dangereuse avec les usagers à proximité immédiate du lieu de l'accident.

²² Références : CEMIR, Imagerie à l'admission du polytraumatisé : Recommandations. Laplace Ch. MAPAR 2010.

PAS DE TEXTE

3. CONCLUSION

L'évènement est une panne moteur en vol, conduisant à un atterrissage forcé en campagne et à l'endommagement important de l'aéronef.

#SCF PP²³

#ARC²⁴

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

Le 17 octobre 2021, une mission de convoyage est ordonnée pour une patrouille de trois avions Extra 330 dont un Extra 330/L (biplace) de l'EVAA, à partir de l'aéroport de Biarritz Pays Basque (LFBZ) et à destination de la BA 701 de Salon-de-Provence. Cette patrouille vient de terminer son dernier meeting de la saison. Après 31 minutes de vol, l'Extra 330/L, avec à son bord un pilote commandant de bord et un mécanicien, subit une première perte de puissance à la suite d'une rupture brutale de l'axe de la membrane carburant sur le régulateur carburant, ce qui interrompt l'alimentation du moteur. Après avoir consommé le carburant résiduel situé en aval du régulateur carburant, le moteur s'éteint 11 secondes plus tard. Ayant effectué la procédure d'urgence sans succès, et après avoir renoncé à évacuer le bord en raison de la présence de son passager et d'une analyse du risque lié à l'environnement, le pilote se prépare pour un atterrissage forcé en campagne. Lors de la manœuvre, l'avion heurte le sol violemment et rebondit. Découvrant au dernier moment des obstacles dans l'axe, le pilote manœuvre pour infléchir sa trajectoire de 90° à gauche et effectue une glissade sur 45 mètres dans un second champ en pente descendante, jusqu'à l'arrêt définitif. L'aéronef est fortement endommagé. Les membres d'équipage sont légèrement blessés.

L'équipage évacue immédiatement l'avion et effectue les manœuvres de mise en sécurité. Les secours, arrivés rapidement, effectuent une évaluation médicale sommaire puis libèrent le pilote et le passager.

3.2. Causes de l'évènement

Les causes de l'évènement relèvent du domaine technique, du domaine des facteurs organisationnels et humains et du domaine environnemental.

La cause de l'extinction du moteur en vol est une coupure d'alimentation en carburant en sortie du régulateur carburant, consécutive à la rupture de l'axe de la membrane carburant interne au régulateur carburant. La cause probable de cette rupture est une fragilisation en production du filetage susceptible de diminuer sa tenue en fatigue, aggravée par les sollicitations en traction-flexion et par une usure possiblement due à son vieillissement.

Les difficultés de gestion de la manœuvre délicate de l'atterrissage en campagne sont accrues par :

- La simplicité de la mission favorisant un sentiment de confiance à l'origine d'une mobilisation mesurée de l'attention jusqu'à la survenue de la panne ;
- Une possible baisse de vigilance associée à la fin de la saison des meetings aériens qui a pu favoriser une baisse des performances cognitives ;
- Une préparation de mission qui ne prend pas suffisamment en compte le cas de la panne moteur ;
- Une prise de décision sous forte pression temporelle en lien avec le choix de la hauteur du vol ;
- L'ergonomie défavorable de l'avion pour cette manœuvre entraînant une appréciation erronée du point d'aboutissement de la trajectoire finale ;
- Un possible biais d'habitude, le regard étant porté principalement à gauche entraînant une conscience partielle de la situation vers la droite ;
- Un entraînement à l'atterrissage en campagne peu fréquent ou en conditions non totalement représentatives de la réalité ;
- La présence de vent-arrière augmentant la difficulté de l'atterrissage en campagne.

²³ SCF PP : *System/component failure or malfunction/powerplant* selon la taxonomie du système de déclaration des données sur les accidents et incidents aériens de l'OACI: <https://www.icao.int/safety/airnavigation/aig/pages/adrep-taxonomies.aspx>.

²⁴ ARC : *abnormal runway contact* – contact anormal avec le sol.

PAS DE TEXTE

4. RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

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

4.1.1. Fiabilisation du bloc d'injection

Lors des révisions générales toutes les 1 400 h ou 12 ans, l'axe de la membrane carburant du *Fuel Injector Servo* (FIS) n'est pas systématiquement remplacé. Compte tenu du mode de réalisation du filetage susceptible de diminuer la tenue en fatigue et du temps important entre deux révisions, il y a un risque avéré de rupture en vol.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à la FAA de promouvoir auprès de Precision Airmotive Corporation l'amendement du programme d'entretien intégrant le remplacement systématique de l'axe de la membrane de carburant du *Fuel Injector Servo* (FIS) lors des révisions *factory overhaul*.

R1 – [A-2021-19-A] Destinataires : FAA, Precision Airmotive Corporation

4.1.2. Suivi de maintenance des Extra 330

Lors de l'enquête, il n'a pas été possible de déterminer avec certitude l'historique du régulateur de carburant (FIS) à l'origine de l'accident en raison des changements multiples des prestataires externalisés de maintenance des Extra depuis 2015. Le suivi historique des sous-ensembles du moteur n'a pas été possible, malgré le système d'information logistique en place.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à la DMAé d'étudier l'opportunité d'un suivi technique des sous-ensembles moteur des Extra 300.

R2 – [A-2021-19-A] Destinataire : DMAé

4.1.3. Suivi de maintenance des Extra 300 de l'EVAA

La modification attendue de la maintenance du sous ensemble FIS des moteurs des Extra 300 de l'EVAA doit permettre d'atteindre un haut niveau de sécurité et de fiabilité de cet ensemble.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'Air et de l'Espace de faire évoluer le PEA des Extra 300 avec le remplacement systématique de l'axe de la membrane carburant des régulateurs carburant (FIS), afin de s'assurer de leur potentiel réel consommé.

R3 – [A-2021-19-A] Destinataire : CEMAEE

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

Après l'accident, l'équipage a été pris en charge par les premiers éléments d'intervention. Cependant, un risque important de décompensation de lésions non diagnostiquées par une équipe médicale pré-hospitalière peut se produire plusieurs heures après un évènement aérien grave à haute énergie cinétique. Dans ce contexte d'impact avec le sol à haute vitesse, un transfert en centre hospitalier de traumatologie pour la réalisation d'un bilan spécialisé et une surveillance aurait été légitime. Au retour à la base aérienne, le service médical local n'a pas recherché d'information concernant les bilans médicaux spécialisés effectués vis-à-vis des victimes de l'accident, qui n'ont été prises en charge en centre de traumatologie que près de 48 heures après l'évènement.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à la DCSSA de garantir la diffusion auprès de toutes les antennes médicales du protocole de prise en charge des équipages suite à un évènement aérien grave à haute vitesse.

R4 – [A-2021-19-A] Destinataire : DCSSA