

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT D'ETAPE



BEAD-air-I-2016-015-A

Date de l'évènement 24 octobre 2016

Lieu Aéroport international de Malte

Type d'appareil SA227 AT - Merlin IV C

Immatriculation N577MX

Compagnie CAE Aviation

AVERTISSEMENT

Ce document du BEAD-air est établi sur la base des premiers éléments de l'enquête de sécurité en cours.

Les différents points évoqués ci-après sont donc susceptibles d'évoluer. Ce n'est qu'à l'issue des travaux d'expertise et d'analyse qu'il sera possible de conclure sur les circonstances et les causes de l'évènement et d'établir le rapport d'enquête de sécurité. Dès lors, rien dans la présentation de ce document ou dans les points qui y sont abordés ne peut être interprété comme une indication sur les orientations ou a fortiori les conclusions de l'enquête.

L'objectif de l'enquête de sécurité est d'identifier les causes de l'évènement et de formuler des recommandations de sécurité et non d'établir les fautes ou évaluer les responsabilités individuelles ou collectives.

Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce document sont exprimées en heure légale maltaise (identique à l'heure légale française).

CREDITS PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page de garde : CAE Aviation

Photos :

- Page 9 : Police maltaise
- Pages 15 et 16 : BEAD-air
- Page 33 : LanzaroteSpotter.wordpress.com

Illustrations :

- Page 8 : RESEDA
- Page 14 : BEAD-air / Police maltaise
- Pages 18 à 20 : BEAD-air
- Pages 21 à 28 : DGA EP (RESEDA) / BEAD-air
- Page 35 : Transport Malta / BEAD-air

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	2
CREDITS PHOTOS ET ILLUSTRATIONS	2
TABLE DES MATIERES	3
GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS	5
1. Renseignements de base	7
1.1. Déroulement du vol	7
1.2. Dommages aux personnes	8
1.3. Dommages à l'aéronef	9
1.4. Autres dommages	9
1.5. Renseignements sur le personnel	9
1.6. Renseignements sur l'aéronef	11
1.7. Conditions météorologiques	12
1.8. Aides à la navigation	13
1.9. Télécommunications	13
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	13
1.11. Enregistreurs de bord	13
1.12. Renseignements sur l'épave et sur l'impact	13
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	17
1.14. Incendie	17
1.15. Questions relatives à la survie des occupants	17
1.16. Essais et recherches	18
1.17. Renseignements sur les organismes	19
2. Synthèse des premiers éléments recueillis	21
2.1. Trajectoire de l'aéronef	21
2.2. Sièges	24
2.3. Champ de vision du pilote	25
2.4. Voyants d'alarmes	26
2.5. Domaine environnemental	27
3. Orientation des investigations	29
3.1. Investigations en cours	29
3.2. Investigations envisagées	29
4. Recommandations	31
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement	31
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'évènement	31
ANNEXE 1 DESCRIPTIF DE L'AVION MERLIN IV SA227 AT IMMATRICULE N577MX	33
ANNEXE 2 EXTRAIT DE LA CARTE DE L'AEROPORT DE MALTE	35

GLOSSAIRE

ATPL	<i>airline transport pilot licence</i> – licence de pilote de ligne
DGA EP	direction générale de l'armement essais propulseurs
DGA EV	direction générale de l'armement essais en vol
DGA TA	direction générale de l'armement techniques aéronautiques
FAA	<i>federal aviation administration</i> – administration gouvernementale américaine en charge de l'aviation
FAR	<i>federal aviation regulations</i> – règles applicables à l'aviation aux Etats Unis d'Amérique
Ft	<i>feet</i> – pied (1 ft \approx 0,30 mètre)
QT	qualification de type
SAS	<i>Stall avoidance system</i> – système anti décrochage

SYNOPSIS

Date de l'évènement : 24 octobre 2016
Lieu de l'évènement : aéroport international de Malte
Organisme : CAE Aviation
Aéronef : SA227 AT Merlin IVC
Nature du vol : surveillance aéromaritime
Nombre de personnes à bord : 5

Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

Lors de la phase de décollage en piste 13, après la rotation, l'avion prend initialement une assiette normale puis très rapidement affiche un cabrer important suivi d'un mouvement de roulis à droite jusqu'à une position de trois-quarts dos à l'apogée de sa trajectoire. Dans la descente, l'avion amorce un mouvement inverse de roulis à gauche jusqu'à l'impact avec le sol, à 130 mètres à droite de l'axe de décollage et environ à mi-piste. Toutes les personnes présentes à bord décèdent. L'avion est détruit.

Composition du groupe d'enquête de sécurité

- Un directeur d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air).
- Un enquêteur adjoint du BEAD-air.
- Un expert technique du BEAD-air.
- Un pilote d'essai ayant une expertise sur les essais en vol applicables à ce type d'avion.
- Un médecin breveté de médecine aéronautique.

Autres experts consultés

- Direction générale de l'armement techniques aéronautiques (DGA TA).
- Direction générale de l'armement essais propulseurs (DGA EP).
- Direction générale de l'armement essais en vol (DGA EV).

Industriels consultés

- M7 Aerospace.
- Dowty Propellers.

Déclenchement de l'enquête de sécurité

Le BEAD-air a été informé téléphoniquement le 24 octobre 2016 par le bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA). Après évaluation de la situation, concertation entre les deux bureaux et autorisation des autorités maltaises, le groupe d'enquête se rend sur les lieux le 31 octobre 2016.

PAS DE TEXTE

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Indicatif mission : LXC 77

Type de vol : CAG IFR¹

Type de mission : surveillance aéromaritime

Dernier point de départ : aéroport international de Malte

Heure de départ : 7h19

Point d'atterrissage prévu : aéroport international de Malte

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

Le dernier plein de carburant est réalisé le 21 octobre 2016.

Les cinq membres d'équipage préparent la mission le 23 octobre 2016 vers 15h00.

Le plan de vol est reçu par l'organisme Eurocontrol le dimanche 23 octobre 2016 à 18h29.

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

L'aéronef quitte son point de stationnement vers 7h15 et s'immobilise au point d'arrêt « *Oscar inner* » en attente de son autorisation d'alignement pour un décollage en piste 13.

Il est autorisé à s'aligner puis à décoller à 7h18 pour un départ normalisé aux instruments² nommé SUDIK 2B.

La mise en puissance et le lâcher des freins sont réalisés à 7h19.

La rotation intervient environ 30 secondes plus tard.

La rentrée du train débute à une hauteur de 30 ft environ.

Quatre secondes après la rotation, l'avion prend une assiette à cabrer importante, rapidement suivie d'un mouvement de roulis à droite.

L'avion est observé en position trois-quarts dos 2 à 3 secondes après, à l'apogée de sa trajectoire.

Dans la descente, l'avion amorce un mouvement inverse de roulis à gauche.

L'impact avec le sol survient 3 secondes plus tard et provoque un incendie.

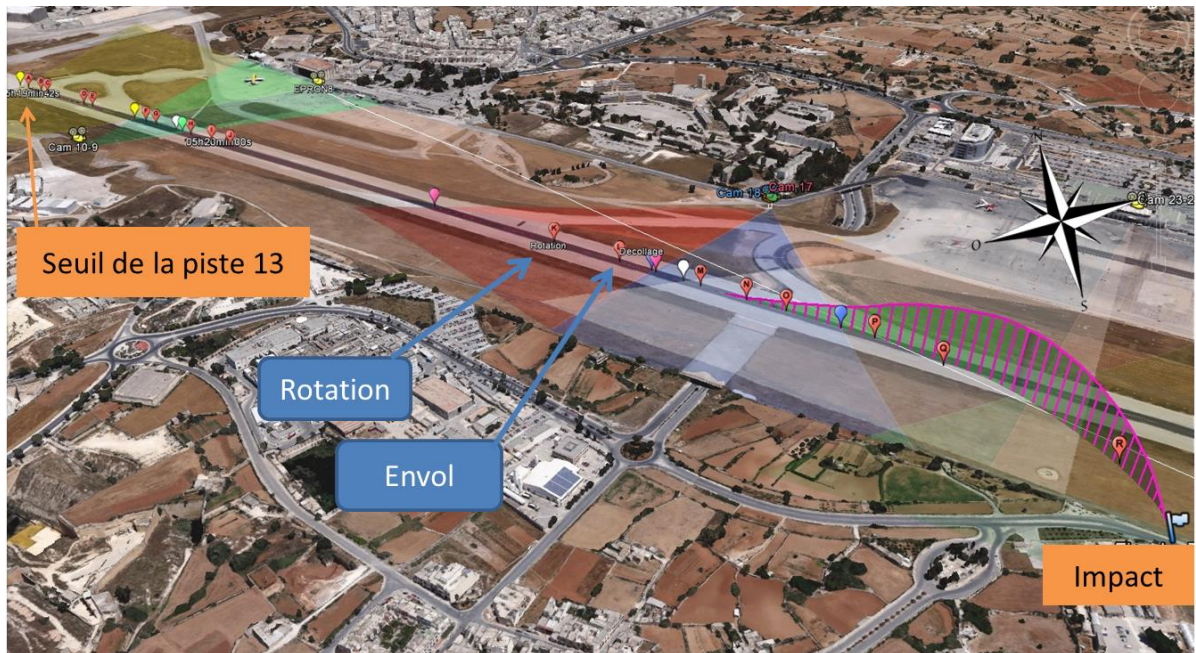
Au total, 10 secondes se sont écoulées entre l'envol et l'impact.

¹ Circulation aérienne générale - règle de vol aux instruments.

² Pour le vol IFR, les départs normalisés aux instruments - *standard instrument departure* - (SID) portent un nom spécifique.

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

Une reconstitution de la trajectoire est présentée ci-dessous.



Reconstitution de la trajectoire de l'aéronef

1.1.3. Localisation

- Lieu : aéroport international de Malte
 - pays : Malte
 - commune : Kirkop
 - coordonnées géographiques : N 35°51' / E 014°28'
 - altitude du lieu de l'évènement : 240 ft
- Moment : jour (aube)

1.2. Dommages aux personnes

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles	5		
Graves			
Légères			
Aucune			

1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
Merlin IVC SA227 AT		X		

1.4. Autres dommages

La zone d'impact se situe au niveau du mur d'enceinte de l'aéroport. Le mur d'enceinte et le grillage associé sont détruits ou endommagés sur une vingtaine de mètres environ. La route extérieure et le mur de l'autre côté de la route sont endommagés sur moins d'une trentaine de mètres. Trois bâtiments situés de l'autre côté de la route sont partiellement endommagés ou portent des traces de l'incendie qui s'est déclaré au sol. Les arbres environnants ont partiellement brûlé.



Dommages au mur d'enceinte, à la route et aux bâtiments environnants

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1. Commandant de bord

Le commandant de bord (30 ans) est employé par la compagnie CAE Aviation. Il est titulaire d'une licence américaine délivrée en août 2014. Il dispose d'une licence de pilote de ligne (ATPL) et d'une qualification de type (QT) sur l'avion SA227.

Son test en vol annuel a été réalisé le 5 janvier 2016 sur un avion SA227 TT et était satisfaisant.

Sa formation initiale a été réalisée au sein de l'armée de l'air française, où il a obtenu son brevet militaire de pilote du 2^{ème} degré – option transport en 2009. Il a aussi obtenu une licence européenne de pilote professionnel avion (CPL (A)) en 2009. Il a quitté l'institution militaire en 2011.

– Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont SA227	sur tout type	dont SA227	sur tout type	dont SA227
Total (h)	3 511	1 229	99	99	31	31

– Date du précédent vol comme pilote sur l'aéronef : 20 octobre 2016.

1.5.1.2. Pilote de surveillance

Selon le manuel de la compagnie, un pilote de surveillance est un pilote détenteur d'une licence à jour et de son aptitude médicale. Il n'est pas nécessairement qualifié sur l'aéronef et peut être en place droite pour un avion certifié monopilote comme c'est le cas du Merlin IV. C'est un pilote supplémentaire permettant d'apporter une sécurité supplémentaire lors des vols complexes ou longs. Il a le rôle d'un pilote non en fonction (PNF).

Le pilote de surveillance (70 ans) est employé par la compagnie CAE Aviation. Il est titulaire d'une licence américaine (ATPL) délivrée en février 2013 et dispose d'une QT sur l'avion Dassault Falcon 10. Ses heures de vol comme pilote et pilote de surveillance sont les suivantes :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont SA227	sur tout type	dont SA227	sur tout type	dont SA227
Total (h) en pilote	21 806	+ de 2 000 ³	0	0	0	0
Total (h) en pilote de surveillance	75	75	75	75	37	37

– Date du précédent vol comme pilote de surveillance : 20 octobre 2016.

1.5.2. Opérateurs des systèmes embarqués

- Coordinateur tactique : 39 ans
- Opérateur n°1 : 32 ans
- Opérateur n°2 : 52 ans

³Valeur issue du curriculum-vitae du pilote de surveillance lors de son embauche à CAE. A ce stade, le carnet de vol n'a pas été retrouvé.

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : CAE Aviation
- Type d'aéronef : Swearingen SA227 AT (fiche descriptive en annexe 1)

Selon la documentation de suivi de l'appareil, les composants majeurs installés sur l'aéronef et leur temps de fonctionnement respectif sont les suivants :

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis	Heures de vol depuis
Cellule	SA227 AT	AT-577B	9 261	Check A+B : 174	Check C+D : 74
Moteur n°1	TPE 331-11U-611G	P44498C	17 922	RG ⁴ : 2 276	-
Moteur n°2	TPE 331-11U-611G	P44269	7 191	RG : 3 606	HSI ⁵ : 1 145
Hélice n°1	DOWTY R321/4-82F/B	DRI/DRG/4008/85	14 770	RG : 1 616	-
Hélice n°2	DOWTY R321/4-82F/B	DRI/DRG/313/86	25 090	RG : 1 026	-

1.6.1. Maintenance

La maintenance de l'avion SA227 AT repose sur la réalisation de quatre visites périodiques dénommées « *checks* A, B, C et D » dont le contenu respectif diffère. Le plan de maintenance de l'avion accidenté a suivi le programme d'entretien suivant :

- les « *checks* A+B » ;
- puis « *checks* C+D » après 100 heures de vol ;
- puis « *checks* A+B » après 100 heures de vol supplémentaires ;
- et ainsi de suite.

Lors de la réalisation du chantier de modification de l'avion de mars 2015 à mars 2016, l'aéronef a fait l'objet des quatre visites simultanément en raison du temps d'immobilisation important (« *Checks* A, B, C et D » à 9 006 h).

Il a ensuite été entretenu comme suit :

- les *checks* A+B ont été réalisées en juillet 2016, ainsi que divers travaux supplémentaires ;
- les *checks* C+D et quelques travaux supplémentaires ont été effectuées en septembre 2016.

1.6.2. Performances

Selon le manuel de vol, la distance de décollage est inférieure à 1 000 m et la distance d'accélération-arrêt est inférieure à 1 700 m, dans les conditions suivantes, analogues à celles de l'évènement :

- masse au décollage de 16 000 livres ;
- température de 25 °C ;
- altitude du terrain de 300 ft ;

⁴ RG : révision générale.

⁵ HSI : *hot section inspection* - inspection parties chaudes.

- absence de vent ;
- utilisation de l'injection eau-méthanol ;
- dégivrage sur arrêt.

Dans les mêmes conditions, la pente nette⁶ de montée avec un moteur en panne est supérieure à 3 %.

Pour ces calculs, les équipages disposent d'un logiciel de préparation décrit dans le manuel d'opérations de la compagnie CAE.

1.6.3. Masse et centrage

L'avion est sorti du chantier de modification le 8 mars 2016. Sa fiche de pesée à cette date stipule une masse à vide de 10 470 livres. L'avion a fait l'objet d'une adjonction d'équipements courant 2016. Sa fiche de pesée n'a pas été réactualisée, mais sa masse à vide ayant été augmentée de 116 livres, sa masse totale peut être calculée à 10 586 livres.

Avec cette dernière masse à vide en ajoutant la masse du carburant, d'eau-méthanol et les masses réelles des membres d'équipage, la masse au parking est évaluée à 16 082 livres. Entre le démarrage des moteurs et la mise en puissance au décollage, une vingtaine de minutes s'est écoulée qui a occasionné une consommation d'environ 80 livres de carburant. La masse au décollage lors de l'évènement correspondait sensiblement à la masse maximale autorisée au décollage.

Le centrage estimé au parking est au milieu de la plage autorisée pour cette masse.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : JET A1
- Quantité au décollage : 4 320 livres (estimation, car l'aéronef a pris feu lors de l'impact au sol).

1.6.5. Autres fluides

L'avion est équipé d'un dispositif d'augmentation de puissance réalisée par l'injection d'un mélange eau-méthanol. Les quantités ci-dessous sont des quantités estimées car l'aéronef a pris feu lors de l'impact au sol :

- eau-méthanol au décollage : 16 gallons US ;
- eau-méthanol au moment de l'évènement : 12 gallons US.

1.7. Conditions météorologiques

- Observation à 7h15 : vent variant du secteur 060° à 130° pour 11 kt, visibilité 7 km, couche nuageuse fragmentée à 600 ft, température 23 °C / point de rosée 22 °C et pression au niveau de la mer 1 018 hPa.
- Observation à 7h45 : vent du secteur 080° pour 10 kt, visibilité 8 km, couche nuageuse fragmentée à 600 ft, température 23 °C / point de rosée 22 °C et pression au niveau de la mer 1 019 hPa.

⁶ Pente nette : pente de montée brute (réalisée en essais en vol) à laquelle un abattement de 0,8 % a été réalisé.

1.8. Aides à la navigation

Sans objet.

1.9. Télécommunications

L'équipage est en communication avec la tour de contrôle de l'aéroport par VHF⁷.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

L'aéroport international de Malte (LMML) est un aérodrome ouvert à la circulation aérienne publique (carte en annexe 2). Il possède deux pistes :

- une de 3 540 m de long orientée 13/31 d'une largeur de 60 m ;
- une de 2 376 m de long orientée 05/23 d'une largeur de 45 m.

Le jour de l'évènement :

- le système d'approche de précision ILS-DME de la piste 31 est en travaux et hors service ;
- les taxiways E (Echo) et F (Foxtrot) sont fermés ;
- il est demandé aux équipages de rouler prudemment lors de l'utilisation des taxiways K, L, Q, R et Z et de la ligne de roulage Oscar.

L'aéroport est équipé d'un système de vidéo-surveillance qui a enregistré l'évènement.

1.11. Enregistreurs de bord

L'aéronef n'est pas équipé d'enregistreur d'accident.

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

1.12.1. Examen de la zone

L'équipe d'enquête est arrivée après l'enlèvement de l'aéronef de la zone de l'accident. Le plan ci-après a été réalisé par les autorités maltaises. Les informations complémentaires ajoutées par le BEAD-air au plan initial figurent en couleur.

⁷ VHF : très haute fréquence.

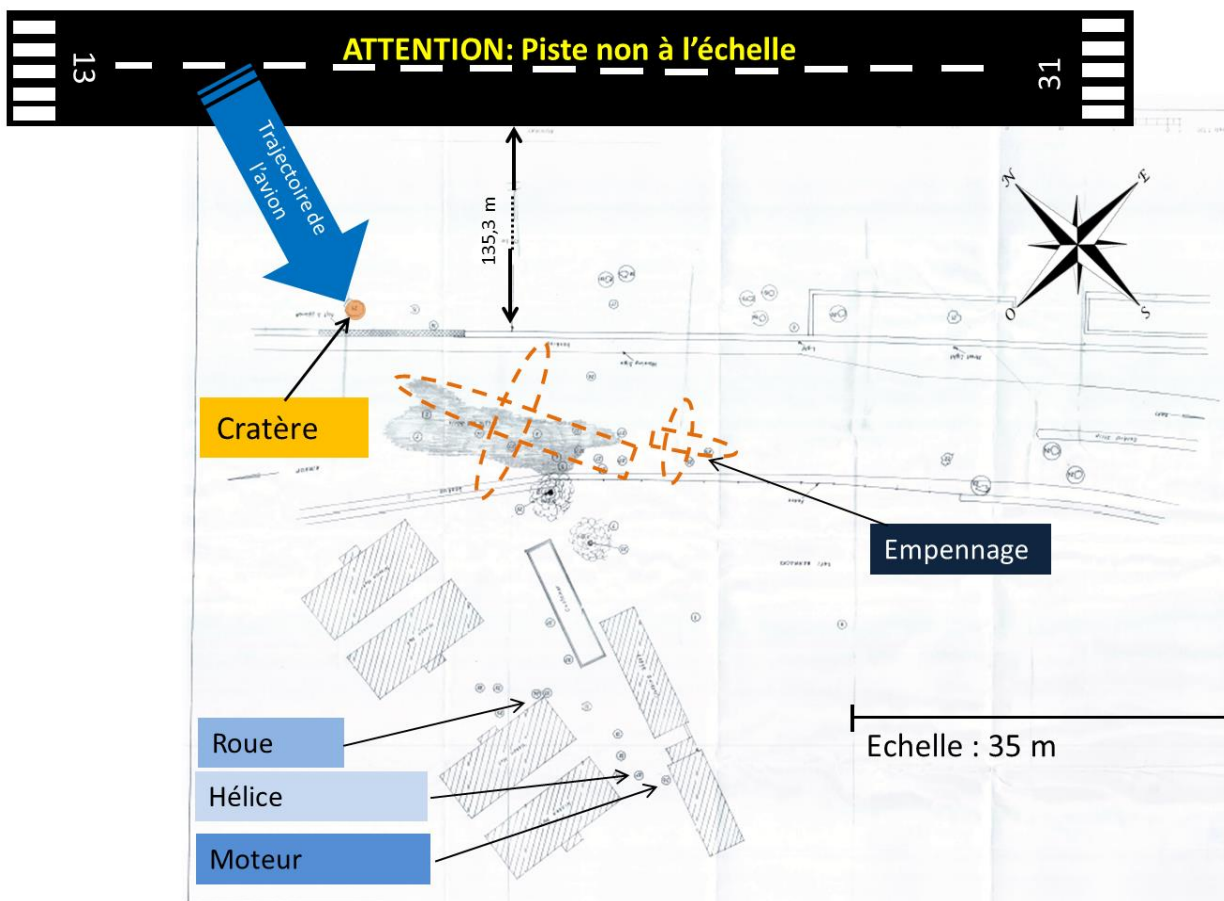


Planche de la zone d'accident avec repérage de certains éléments

L'élément principal de l'épave se situe sur la route longeant la clôture de l'aéroport. Il est orienté au cap 350.

L'empennage est séparé du reste de la cellule mais est toujours relié par les câbles de commandes de vol.

Les éléments les plus lourds (un des deux moteurs et une roue de train principal) sont retrouvés à 30 m environ.

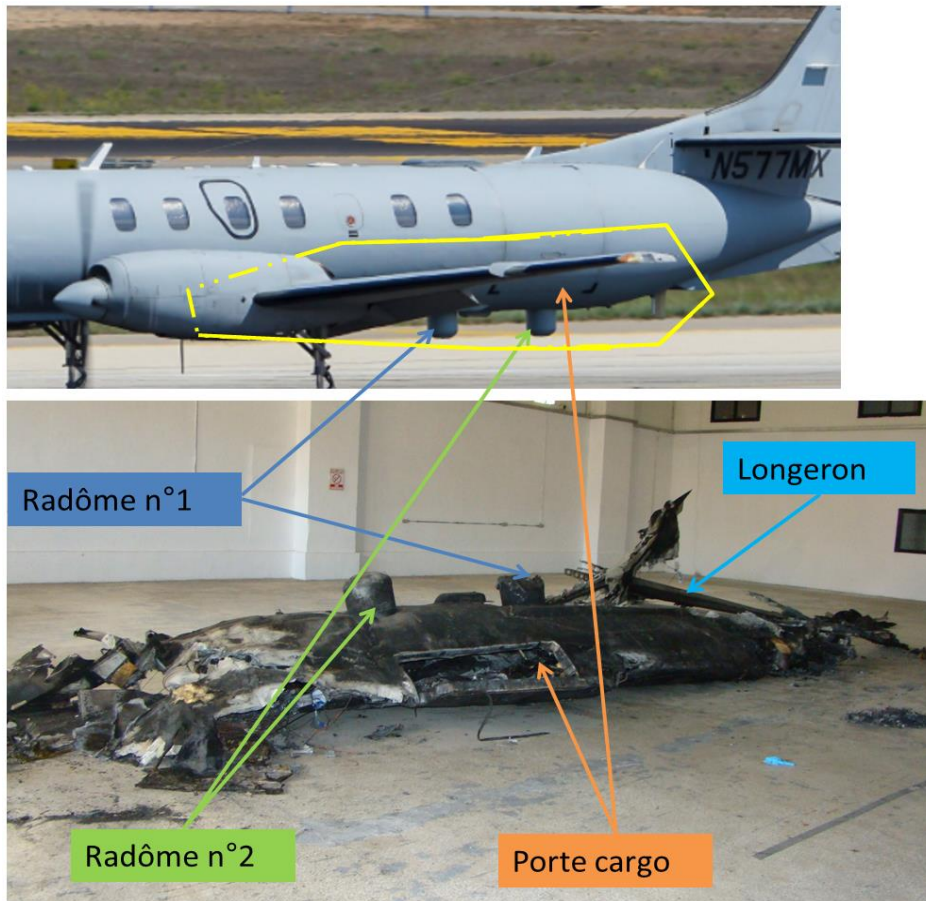
Un cratère d'un diamètre de 1,5 m environ a été identifié près de la clôture (coté piste).

1.12.2. Examen de l'épave

L'examen de l'épave a débuté dans un hangar de stockage sur la commune de Mosta le 2 novembre 2016.

L'épave a été fortement endommagée par l'impact et l'incendie au sol.

Du fuselage, il ne reste d'un seul tenant que la partie inférieure en arrière du longeron de l'aile.



Partie restante du fuselage

L'empennage était encore relié au fuselage par les câbles de commandes de vol sur la zone de l'accident. Pour des modalités de transport, il a été séparé du fuselage après coupure des câbles. L'empennage a été endommagé par l'incendie.



Empennage (posé à l'envers)

Les deux moteurs sont séparés de la cellule.



Moteur gauche



Moteur droit

Moteurs

Les huit pales des deux hélices quadripales sont retrouvées séparées.



Pales des deux hélices quadripales

Les éléments plus légers (manches pilotes, sièges, instruments de bord, boîtiers électroniques, trains d'atterrissage, ...) ont été rassemblés dans la zone de stockage.

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Membres d'équipage de conduite

1.13.1.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical :
 - type : certificat médical de classe 1 (selon réglementation américaine FAR part 67)
 - date : 23 septembre 2016
 - résultat : apte sans restriction
 - validité : 1 an
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : mortelles

1.13.1.2. Pilote de surveillance

- Dernier examen médical :
 - type : certificat médical de classe 1 (selon réglementation américaine FAR part 67)
 - date : 11 mai 2016
 - résultat : apte sous réserve de port de lentilles de correction
 - validité : 6 mois
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : mortelles

1.13.2. Autres personnels

- Examens biologiques : effectués
- Blessures : mortelles.

1.14. Incendie

Lors de l'impact au sol, l'aéronef s'est embrasé.

Les pompiers (trois camions) arrivent à proximité de l'accident 2 min 40 s après l'impact tout en déversant le mélange eau/produit d'extinction avec leur lance.

L'extinction du feu est effective 45 secondes après, soit 3 min 25 s après l'impact.

L'emploi du produit se poursuit 30 secondes de plus pour refroidir la zone.

1.15. Questions relatives à la survie des occupants

1.15.1. Abandon de bord

Sans objet.

1.15.2. Organisation des secours

L'alerte est transmise par l'équipage d'un avion de ligne en attente au point d'arrêt Delta.

L'alerte est relayée ensuite par la tour de contrôle aux pompiers.

Les pompiers constatent que les cinq occupants sont décédés.

1.16. Essais et recherches

Les éléments suivants ont fait l'objet d'exploitation ou d'expertises :

- les vidéos de surveillance de l'aéroport et les images radar, exploitées par le département restitution des enregistreurs d'accident (RESEDA) de DGA EP ;
- les sièges, expertisés par DGA TA ;
- les voyants d'alarmes et certains instruments de vol, expertisés par DGA EP.

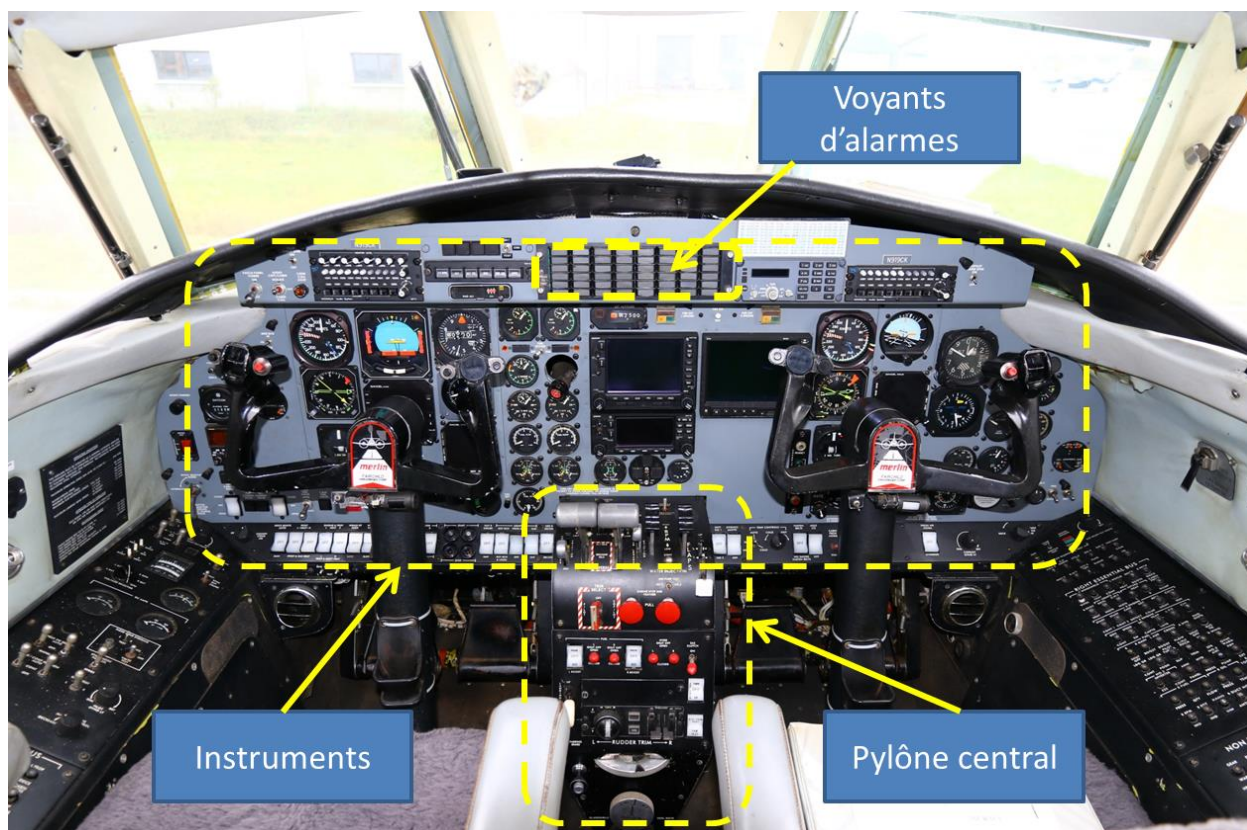


Illustration de l'emplacement des différents éléments du cockpit en expertise

Les éléments suivants font l'objet d'exploitation ou d'expertises, non terminées au moment de l'élaboration du présent rapport :

- les systèmes propulsifs (moteurs et hélices), expertisés par DGA EP ;
- les instruments de vols restants, expertisés par DGA EP ;
- le pylône central (voir illustration ci avant) expertisé par DGA EP ;
- le reste de la cellule (fuselage, empennage, trains d'atterrissage et commandes de vol), expertisé par DGA TA.

Les qualités de vol de l'aéronef aux basses vitesses ont fait l'objet d'une campagne d'essai en vol en septembre 2017 au sein de DGA EV. Le dépouillement est en cours.

Des documents relatifs à la préparation du vol et le carnet de bord ont été récupérés dans l'épave. Ils ont subi les effets de l'impact et de l'incendie. Ils ont été restaurés par un laboratoire travaillant pour les autorités maltaises.

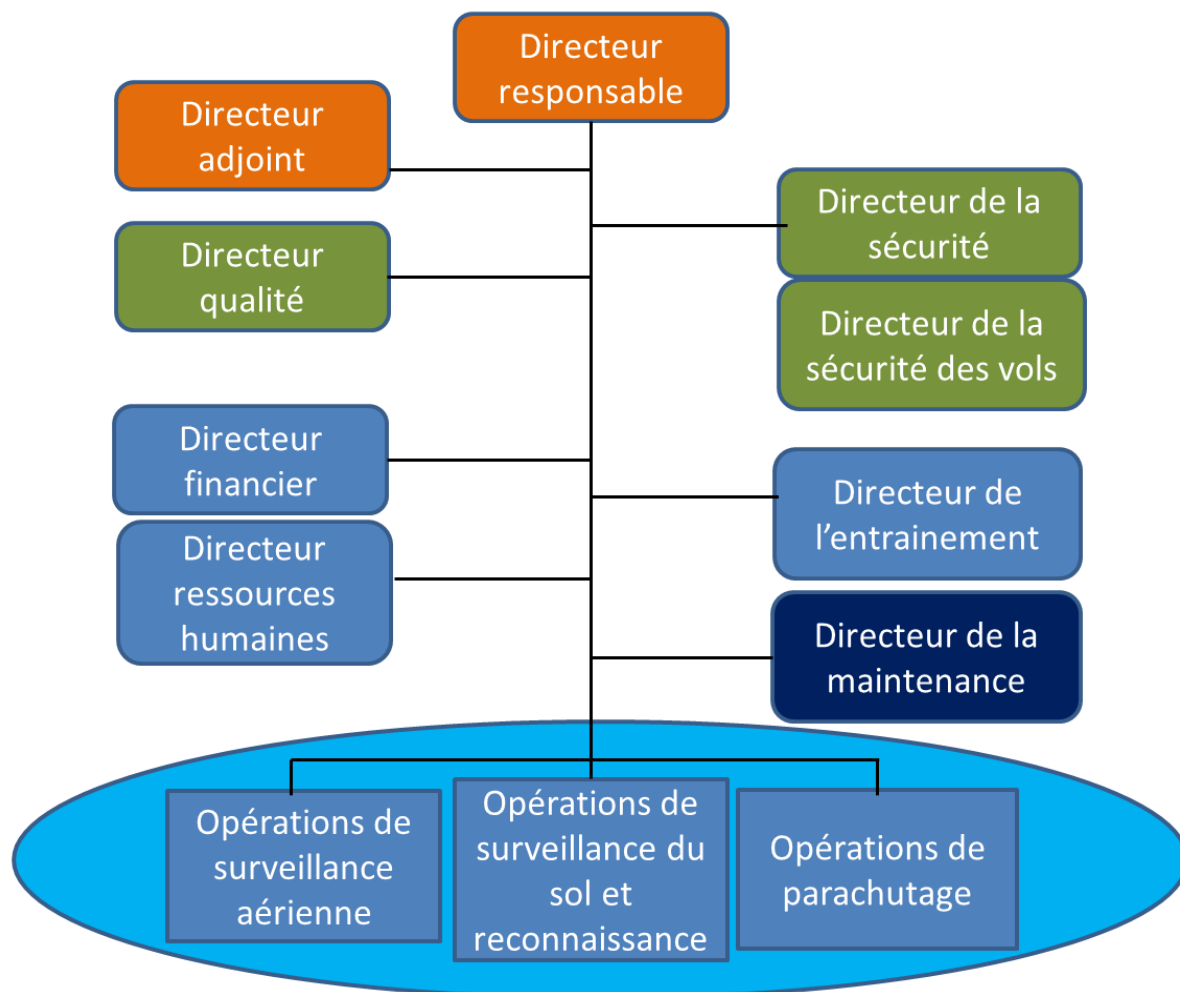
Les expertises dans le domaine des facteurs organisationnels et humains sont en cours.

1.17. Renseignements sur les organismes

- Compagnie aérienne

L'avion est mis en œuvre par la société CAE Aviation basée au Luxembourg. Cette compagnie réalise des opérations aériennes de type :

- parachutage ;
- surveillance du sol et reconnaissance ;
- surveillance aérienne.



Organigramme simplifié de la société CAE Aviation

- Société de maintenance

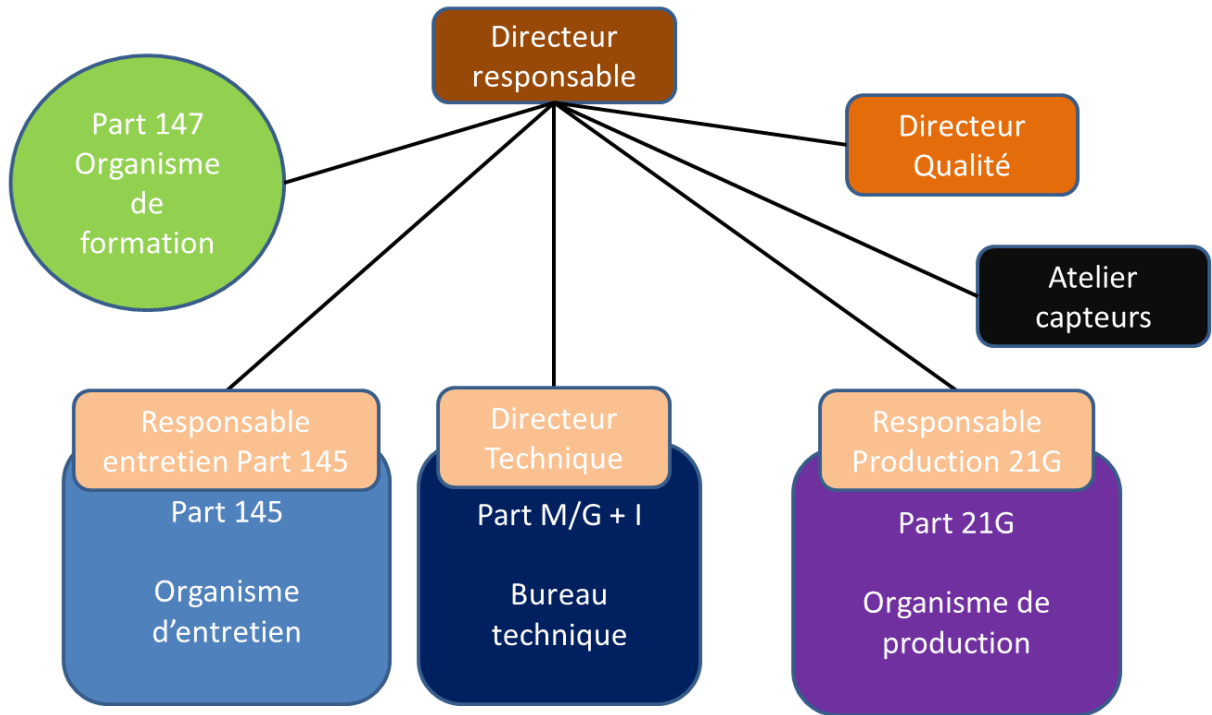
La maintenance de l'aéronef est réalisée par la société CAVOK, filiale de CAE depuis 2010, basée en France. Elle dispose notamment des certificats EASA⁸ d'agrément d'organisme de maintenance (Partie 145) et de gestion du maintien de navigabilité (Partie M, sous-partie G). Les domaines d'agrément de ces certificats concernent notamment les avions SA227.

La société dispose d'un certificat édité par la FAA le 26 mars 2015 la désignant comme société de maintenance (*Repair station*).

⁸ EASA : agence européenne de la sécurité aérienne.

Pour les modifications apportées, elle dispose aussi d'un certificat d'agrément de production (Partie 21G) pour les produits de catégories C1 « équipements » et C2 « pièces », qui concernent la production de « câblages électriques, boîtiers électroniques, supports et racks divers ainsi que l'aménagement cabine, assemblages de structures ».

La société est aussi titulaire d'un certificat d'agrément d'organisme de formation à la maintenance et d'examen (Partie 147) limité aux avions Cessna C208.



Organigramme simplifié de la société CAVOK

2. SYNTHÈSE DES PREMIERS ÉLÉMENTS RECUEILLIS

2.1. Trajectoire de l'aéronef

L'équipe d'enquête a collecté :

- les enregistrements issus des caméras de vidéosurveillance ;
- les enregistrements radars.

Malgré l'absence d'enregistreur d'accident à bord de l'aéronef, la trajectoire a pu être reconstituée. Certains enregistrements vidéo comportent une piste audio. L'analyse spectrale de ces bandes audio permet de vérifier le fonctionnement des moteurs.

2.1.1. Exploitation des images vidéo

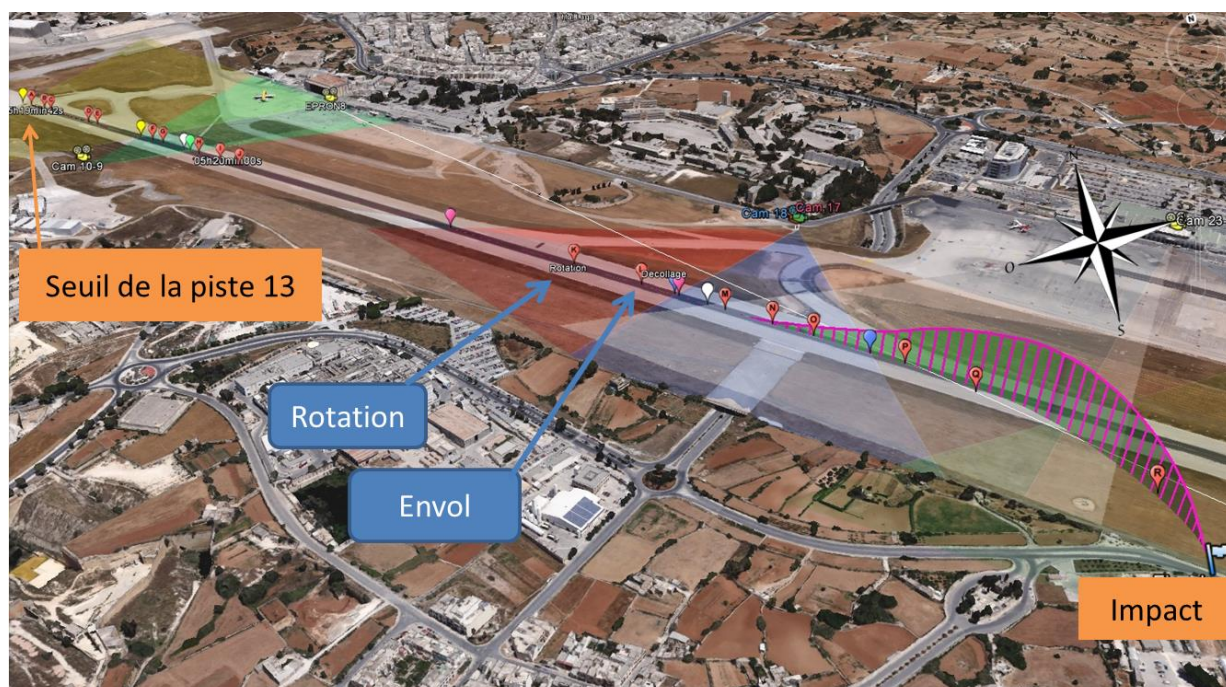
Pour reconstituer la trajectoire, les éléments suivants ont été extraits de chaque image :

- position de l'aéronef (latitude, longitude) ;
- hauteur de l'aéronef par rapport à la piste ;
- attitude (tangage, roulis, lacet) ;
- cap ;
- position du train.

Les paramètres suivants ont ensuite été calculés :

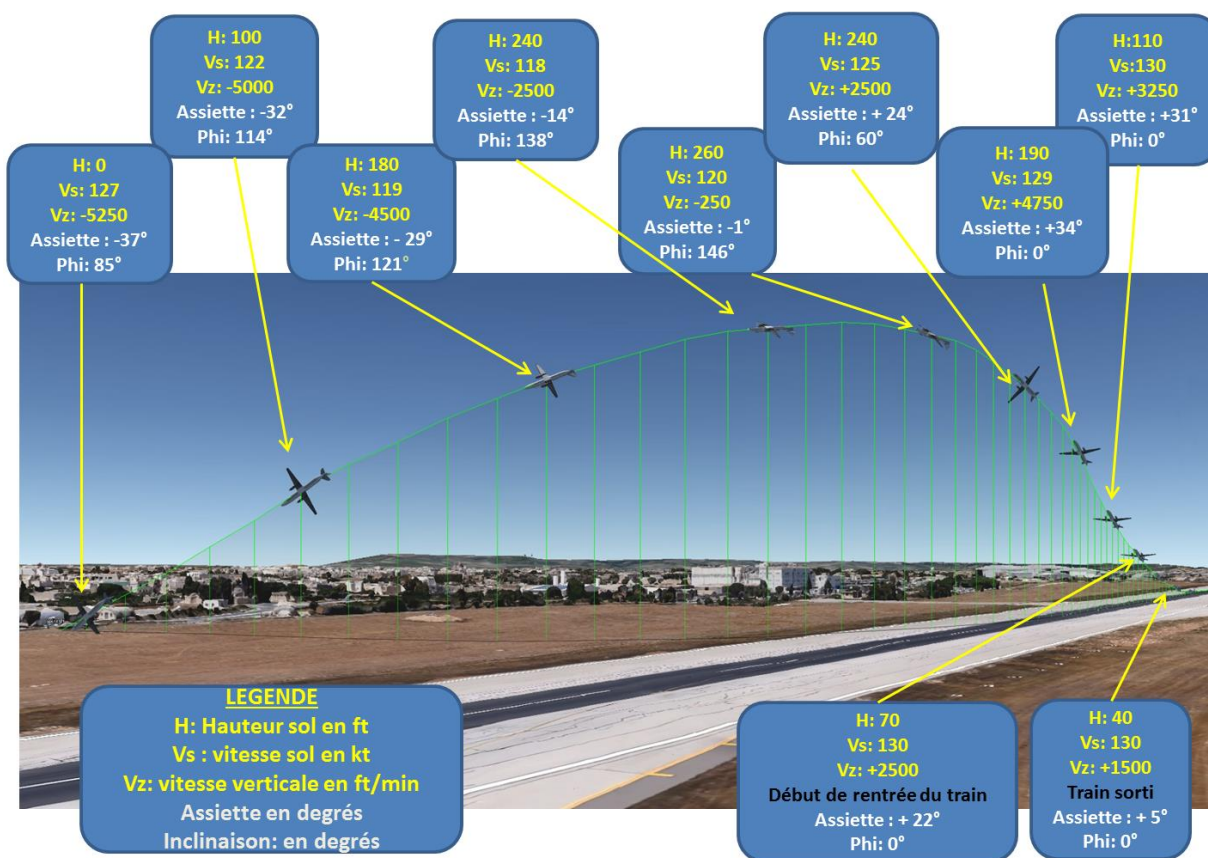
- vitesse sol ;
- vitesse verticale.

Le résultat obtenu est le suivant :



Trajectoire reconstituée

La partie finale de la trajectoire ci-dessous intègre certains paramètres calculés (hauteur, vitesse sol et vitesse verticale). La position de l'aéronef est présentée toutes les secondes.



Trajectoire finale reconstituée

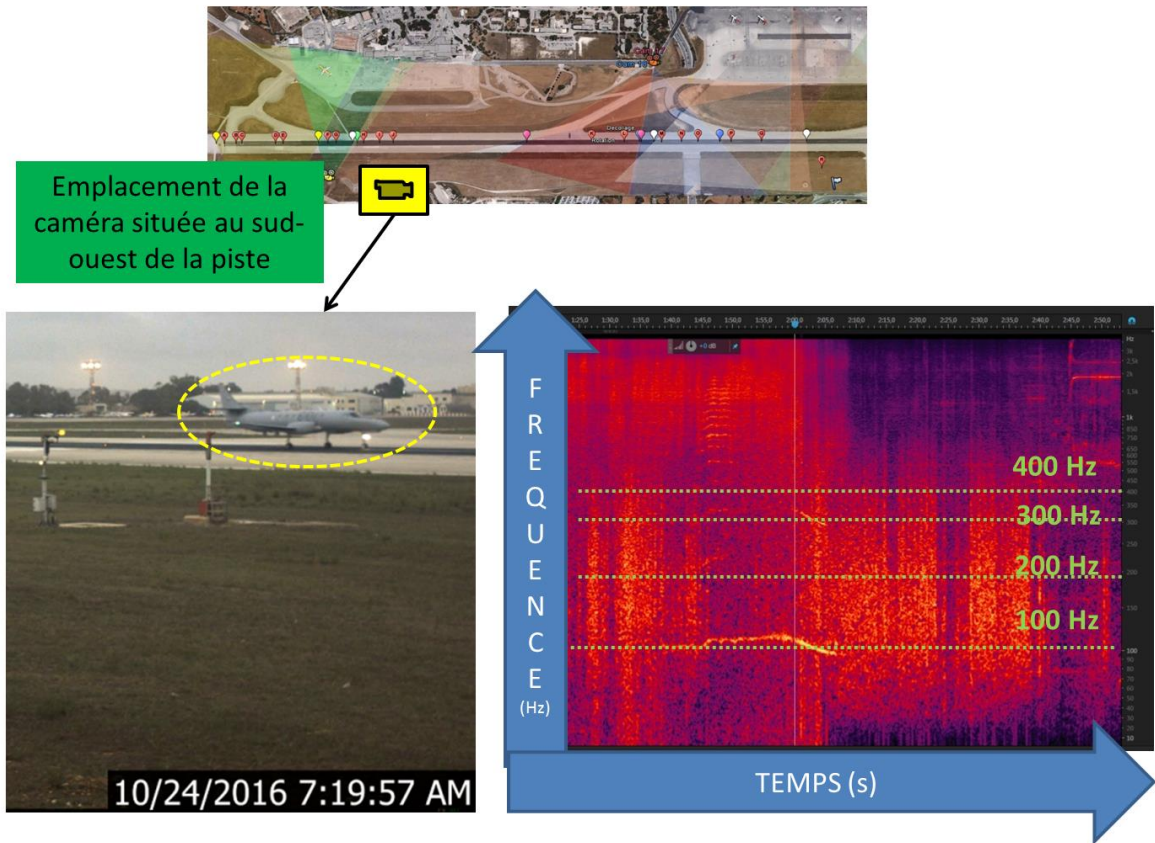
Les images étant en basse définition, il n'a pas été possible de déterminer la position des volets (rentrés ou sortis d'1/4).

2.1.2. Exploitation des enregistrements audio des vidéos

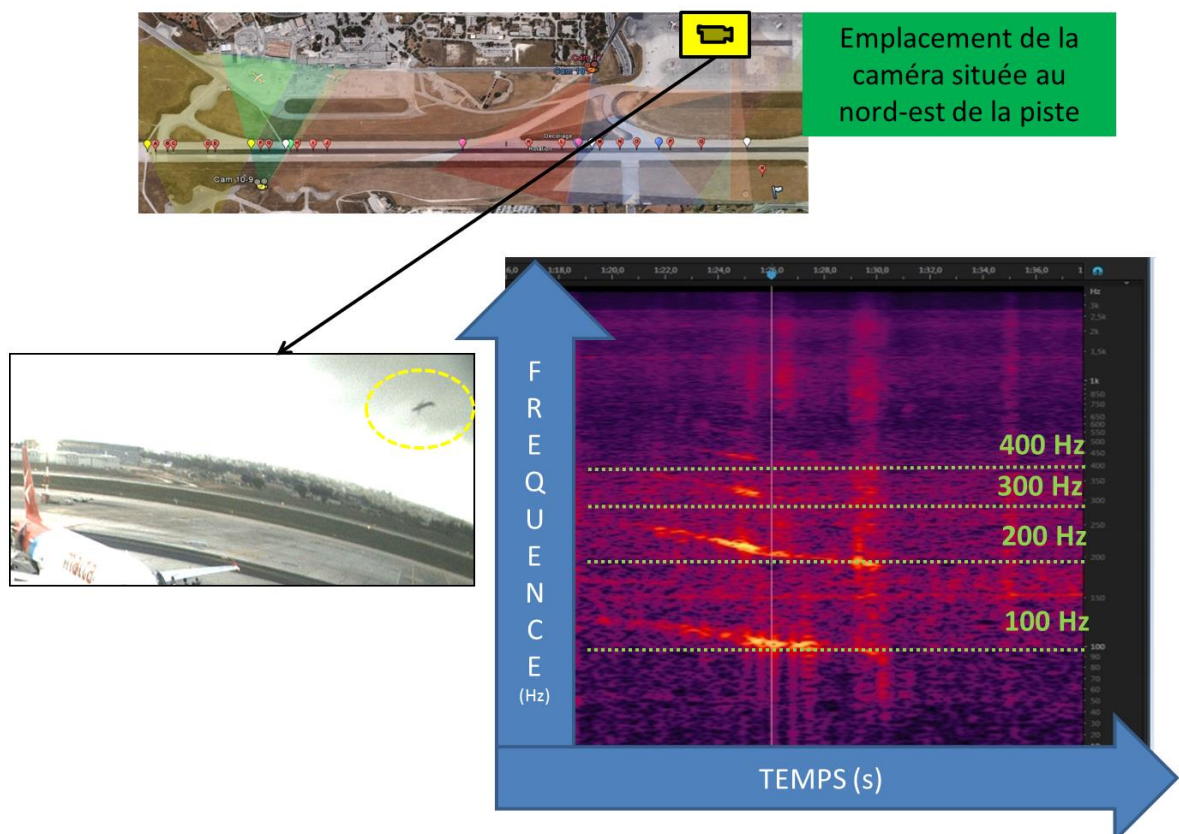
Une représentation spectrale du son enregistré par trois enregistrements vidéos est reproduite ci-après. En filtrant l'effet Doppler⁹ dû au déplacement de l'aéronef, les mesures réalisées permettent, pour la raie principale, de déterminer une fréquence comprise entre 101 et 109 Hz.

Une hélice quadripale tournant à 1 591 tours par minute génère normalement un spectre sonore dont la fréquence de la raie principale se situe à 106 Hz environ et dont les harmoniques sont des multiples de cette dernière.

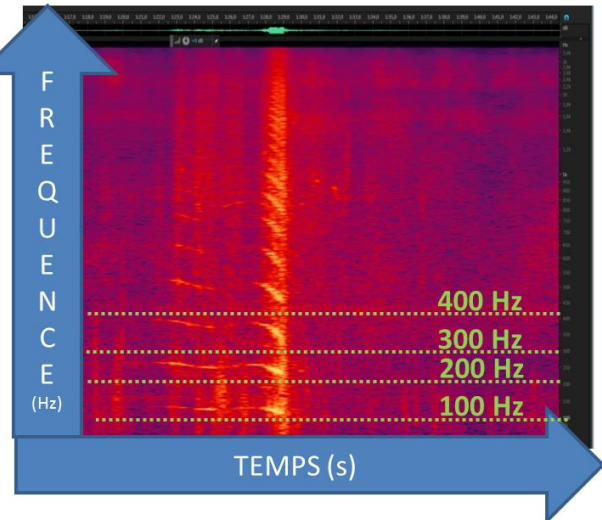
⁹ Effet Doppler : effet se manifestant lorsque la source sonore se déplace par rapport à l'observateur. Le son est différent selon que la source sonore se rapproche du récepteur (le son devenant alors plus aigu) ou s'en éloigne (le son devenant plus grave).



Représentation spectrale du son enregistré par la caméra de surveillance



Représentation spectrale du son enregistré par la caméra de surveillance



Représentation spectrale du son enregistré par la caméra de surveillance (au sud-est de la piste)

Sur les représentations, on ne distingue qu'une raie principale (et ses harmoniques) pour les deux hélices.

En fonctionnement nominal, les deux hélices étant synchronisées, leurs spectres sont confondus.

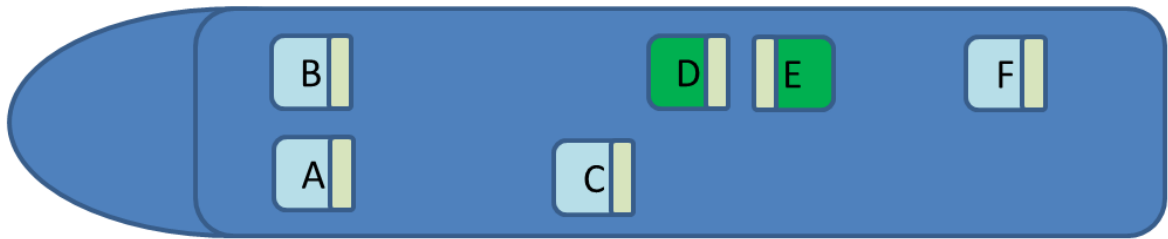
En cas de panne d'un des deux moteurs, le spectre pourrait demeurer identique car le moteur encore en fonctionnement au régime nominal pourrait masquer (par son niveau sonore) le spectre du moteur en panne.

L'analyse spectrale montre que :

- lors de la phase de roulage au sol, les vitesses de rotation des deux moteurs sont identiques ;
- en vol, au moins une des deux hélices tourne au régime nominal jusqu'à l'impact.

2.2. Sièges

L'avion a été modifié et dispose de 6 sièges dont 4 identiques de type « pilote ». Les sièges D et E sont des sièges passagers. Ils sont installés comme indiqué ci-dessous.



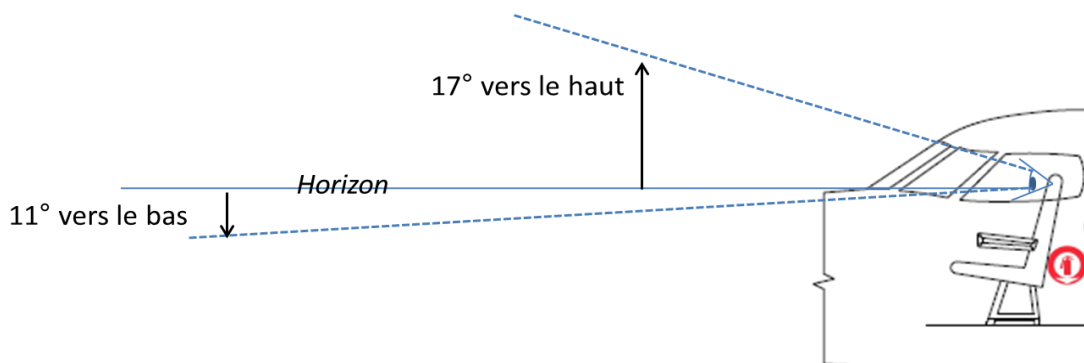
Disposition des sièges dans l'aéronef

Les investigations réalisées ont permis d'établir que tous les sièges (notamment les sièges pilote A et copilote B) étaient verrouillés à l'impact sur ces deux axes de réglages (longitudinal et en hauteur).

A ce stade, l'hypothèse d'un recul du siège du pilote au moment de l'évènement est rejetée.

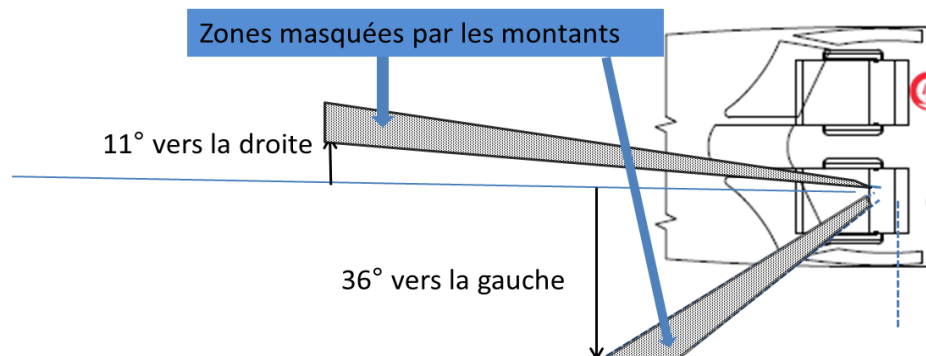
2.3. Champ de vision du pilote

Par ailleurs, sur la base des réglages du siège et des caractéristiques du cockpit, le champ de vision vers l'avant du pilote est le suivant :



Champ de vision du pilote dans le plan vertical

Avec une assiette supérieure à 11° , l'horizon n'est plus visible par le pilote.



Champ de vision du pilote (en place gauche) dans le plan horizontal

Les zones masquées par les montants ne constituent pas une gêne pour le pilotage de l'appareil et pour la détection d'obstacles sur la trajectoire de décollage.

Après l'envol, l'assiette de l'avion a rapidement dépassé les 11°. Pour évaluer visuellement l'augmentation de son assiette, le pilote a dû recourir à des repères latéraux et non plus ceux situés vers l'avant comme de coutume avec un cabrer standard.

2.4. Voyants d'alarmes

Le panneau d'alarmes est constitué de 48 voyants (certains non utilisés) ; 8 sont absents et 6 ne disposent plus de leur libellé. Le détenteur du certificat de type de l'avion (*M7 Aerospace*) a été sollicité pour définir les libellés manquants.

Après leur repérage selon la représentation page suivante, l'examen réalisé en laboratoire a permis de déterminer l'état des voyants à l'impact (7 allumés, 22 éteints et 11 indéterminés).

Pour les voyants dont l'état à l'impact est indéterminé, des travaux complémentaires sont actuellement en cours.

Une représentation synthétique des résultats obtenus est proposée ci-après, selon la légende suivante :

- voyants allumés : couleur d'allumage (vert, ambre ou rouge) ;
- voyants éteints : couleur noire ;
- voyants indéterminés : couleur blanche.

Les voyants non retrouvés dans l'épave à la suite de l'impact sont représentés sur des cases plus foncées.

L ENG FIRE (1)	R ENG FIRE (7)	CABIN DOOR (13)	L BETA (19)	R BETA (25)	LOW SUCTION (31)	LH INTAKE HEAT (37)	RH INTAKE HEAT (43)
L WING OVHT (2)	R WING OVHT (8)	BATTERY FAULT (14)	L CHIP DET (20)	R CHIP DET (26)	CABIN ALTITUDE (32)	LH W/S HT (38)	RH W/S HT (44)
L OIL PRESSURE (3)	R OIL PRESSURE (9)	SAS FAULT (15)	L XFER PUMP (21)	R XFER PUMP (27)	GPU PLUG IN (33)	(39)	(45)
L HYDR PRESS (4)	R HYDR PRESS (10)	CARGO DOOR (16)	L BAT DISC (22)	R BAT DISC (28)	LH SRL OFF (34)	SAS ARM (40)	SAS DE-ICE (46)
(5)	(11)	YAW DAMPER (17)	L AC BUS (23)	R AC BUS (29)	RH SRL OFF (35)	NOSE STEERING (41)	(47)
(6)	(12)	GEAR DOOR POSITION (18)	L GENERATOR FAIL (24)	R GENERATOR FAIL (30)	NOSE STEER FAIL (36)	AWI #1 PUMP ON (42)	AWI #2 PUMP ON (48)
PANNES ROUGES			PANNES AMBRES			INDICATEURS VERTS	

Représentation des résultats d'investigations du panneau d'alarmes

Le voyant rouge de panne du système anti décrochage SAS (*stall avoidance system*) identifié « SAS FAULT » est allumé. Des investigations complémentaires sur le fonctionnement de ce système sont en cours.

A ce stade, ces seules informations ne permettent pas d'expliquer l'évènement.

2.5. Domaine environnemental

Dans le domaine environnemental, les hypothèses suivantes ont été étudiées :

- Turbulence de sillage¹⁰

Pour les turbulences de sillage, la masse de l'avion SA227 AT entraîne le classement de l'aéronef dans la catégorie « léger ». Avant le décollage de l'avion, le dernier aéronef ayant emprunté la piste 13 est un Boeing 757 classé « lourd ». Selon les recommandations de l'OACI, l'espacement temporel au décollage entre un avion léger derrière un avion lourd est de 2 minutes.

L'avion a débuté son décollage plus de 3 minutes après que le Boeing 757 a libéré la piste au taxiway Golf, ce qui suffit à dissiper les turbulences de sillage. De plus, le vent de force modérée a accéléré l'évacuation des tourbillons générés par l'aéronef lourd.

A ce stade, l'hypothèse d'une turbulence de sillage est rejetée.

- Turbulence d'obstacles¹¹

Les conditions de vent du jour (10 kt) ainsi que l'absence d'infrastructure de grande hauteur à proximité de la piste permettent d'écarter cette hypothèse.

A ce stade, l'hypothèse d'une turbulence d'obstacle est rejetée.

- Choc aviaire

L'examen des vidéos n'a pas permis d'identifier la présence d'oiseau aux alentours de l'aéronef avant, pendant et après le décollage.

Les témoignages recueillis des équipages des aéronefs ayant atterri précédemment ou situés à proximité de l'avion pendant l'évènement ne mentionnent ni la présence d'oiseaux, ni la perte d'un élément d'aéronef qui pourrait être consécutif à un choc avec un oiseau.

¹⁰ Turbulence de sillage : perturbations aérodynamiques générées dans le sillage d'un aéronef en vol après son passage.

¹¹ Turbulence d'obstacles : perturbations aérodynamiques générées dans le sillage d'un immeuble ou obstacle au sol par vent fort.

L'inspection de piste réalisée après l'accident n'a pas identifié de plumes ni d'éléments mécaniques appartenant au SA227.

A ce stade, l'hypothèse d'un impact avec un oiseau est très improbable.

- Position du soleil

Le décollage est réalisé à l'aube. Le lever du soleil le jour de l'évènement est effectif à 05h17. L'azimut au lever du soleil est de 104 degrés.

La position du soleil dans le cockpit avant la rotation est représentée ci-dessous.



Position du soleil avant la rotation (en place gauche)

**A ce stade, l'hypothèse d'un éblouissement par le soleil contribuant à l'accident ne peut pas être rejetée.
Cependant, le soleil ne peut pas constituer à lui seul la cause de l'accident.**

3. ORIENTATION DES INVESTIGATIONS

3.1. Investigations en cours

Les investigations en cours concernent :

- les systèmes propulsifs (moteurs et hélices),
- les instruments de vols restants,
- le pylône central,
- le reste de la cellule, qui correspond :
 - au fuselage,
 - à l'empennage,
 - aux trains d'atterrissage,
 - et aux commandes de vol dont le système SAS.

Les documents à bord de l'aéronef ont été restaurés. Leur exploitation a débuté.

Les modifications apportées à l'aéronef ainsi que sa maintenance sont en cours d'analyse.

Le dépouillement des données acquises lors de la campagne de vols techniques réalisés par DGA EV en septembre 2017 sur un aéronef similaire est en cours.

Les investigations dans le domaine des facteurs organisationnels et humains ont débuté.

3.2. Investigations envisagées

En fonction des résultats des investigations ci-dessus, des investigations complémentaires dans le domaine technique et celui des facteurs organisationnels et humains pourront être réalisées.

PAS DE TEXTE

4. RECOMMANDATIONS

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

Néant.

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

4.2.1. Compétence de l'autorité d'emploi

Lors de la phase de déclenchement de l'enquête, le BEAD-air a été informé par le bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA).

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

aux autorités d'emploi, et plus largement à tous les représentants étatiques concernés, d'étudier l'introduction systématique d'une clause, dans les contrats d'affrètement d'aéronefs utilisés pour effectuer des missions au profit de l'Etat français, précisant que le BEAD-air est l'autorité d'enquête compétente en cas d'accident ou d'incident, lorsque ces aéronefs sont exploités pour des missions au profit de l'Etat.

R1-[I-2016-015-A]

Annexes

ANNEXE 1	Descriptif de l'avion Merlin IV SA227 AT immatriculé N577MX	33
ANNEXE 2	Extrait de la carte de l'aéroport de Malte.....	35

ANNEXE 1

Descriptif de l'avion Merlin IV SA227 AT immatriculé N577MX

L'avion Merlin IV C SA227 AT est un avion monopilote¹² conçu par Fairchild dans les années 1980 et il est une évolution du SA26 conçu dans les années 1960. C'est un avion à aile basse, pressurisé, équipé de deux turbopropulseurs et conçu pour transporter 16 passagers au maximum.

Les masses maximales autorisées sont :

- au roulage de 16 100 livres ;
- au décollage de 16 000 livres ;
- à l'atterrissage de 15 500 livres.



Avion SA227 AT

Il est équipé de deux moteurs de marque Honeywell TPE 331-11U-611G qui entraînent des hélices de marque DOWTY R321/4-82F/B. Le moteur, d'une puissance de 1 000 cv (1 100 cv avec l'injection eau-méthanol) est une turbomachine à turbine liée comprenant :

- deux étages de compresseur centrifuges ;
- une chambre de combustion à flux inversé ;
- une turbine axiale à trois étages qui entraîne un réducteur relié à l'hélice.

Le moteur est conçu pour tourner à vitesse constante (N1) et entraîne l'hélice à 1 591 tours par minute. La variation du pas d'hélice permet, au travers de la régulation du moteur et de l'hélice, de faire varier la puissance tout en maintenant un régime de rotation constant.

Les carburants autorisés sont les Jet A, Jet A1, JP4 et JP5. Les huiles autorisées doivent être conformes aux huiles de type MIL-L-23699 (Type II).

L'avion est équipé d'un système anti-décrochage dénommé SAS (*stall avoidance system*) qui comporte notamment un poussoir de manche (*stick pusher*) et un indicateur en cabine utilisant les informations fournies par une sonde d'incidence. Selon la documentation, le système est fonctionnellement armé pour une vitesse air indiquée inférieure à 140 kt \pm 5 kt.

L'avion accidenté a appartenu à plusieurs propriétaires et a fait l'objet de chantiers de modification.

Le tableau ci-après retrace ces grandes étapes.

¹² Selon le manuel de vol de l'avion, l'équipage minimal est d'un pilote, sauf en cas de décollage à puissance réduite, ou quand deux pilotes sont requis par les opérations aériennes.

Date	Heures de vol totales	Immat.	Situation	Observations
26/11/1983	0	N31134	Neuf	Sortie de fabrication
09/04/1985	10	N31134	Modification	MTOW ¹³ augmentée à 16000 livres et installation de caméras et de STCs ¹⁴
28/08/1991	1884	N31134	Inspection	Suite à foudroiement en vol
27/03/1997	4747	N120JM	-	Changement d'immatriculation
07/05/2003	6272	N120JM	Modification	Dépose de composants RADAR et FLIR
13/07/2011	6327	N577MX		Changement de propriétaire et d'immatriculation
26/07/2011	6328	N577MX	Modification	Installation de nouveaux capteurs, TCAS ¹⁵ , TAWS ¹⁶ , réservoirs supplémentaires et antennes HF/UHF
10/03/2016	9006	N577MX	Modification	Dépose d'anciens capteurs et installation de nouveaux capteurs et d'antennes
En 2016	-	N577MX		Adjonction d'un siège et d'un capteur

Historique de l'avion SA277 – n° de série : AT 577 B

¹³ MTOW : *maximum takeoff weight* – masse maximale au décollage.

¹⁴ STC : certificat de type supplémentaire.

¹⁵ TCAS : système d'anticollision entre aéronefs (*Traffic Collision Avoidance System*).

¹⁶ TAWS : système d'alerte de proximité du relief (*Terrain Awareness and Warning System*).

