

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

## Rapport d'enquête de sécurité



A-2021-01-A

Date de l'évènement	15 février 2021
Lieu	Aérodrome de Blois Le Breuil (Loir-et-Cher)
Type d'appareil	DHC-6-Twin Otter Series 300
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

	Armée de l'air et de l'Espace	Page de garde
Figure 1	<i>Google Earth</i> et BEA-É	8
Figure 2	DSAÉ/DIRCAM	11
Figures 3 à 11	BEA-É	12 à 18
Figure 12	DGA TA	18
Figures 13 à 17	BEA-É	19 à 22
Figure 18	<i>Google Earth</i> et BEA-É	22

## TABLE DES MATIÈRES

GLOSSAIRE .....	4
SYNOPSIS.....	5
1. Renseignements de base .....	7
1.1. Déroulement du vol.....	7
1.2. Dommages corporels.....	8
1.3. Dommages à l'aéronef .....	9
1.4. Autres dommages .....	9
1.5. Renseignements sur l'équipage.....	9
1.6. Renseignements sur l'aéronef.....	9
1.7. Conditions météorologiques .....	10
1.8. Aides à la navigation .....	10
1.9. Télécommunications .....	11
1.10. Renseignements sur l'aérodrome .....	11
1.11. Enregistreur de bord .....	12
1.12. Constatations sur l'aéronef et la zone de l'accident.....	12
1.13. Renseignements médicaux.....	14
1.14. Incendie.....	14
1.15. Questions relatives à l'organisation des secours.....	14
1.16. Essais et recherches .....	14
1.17. Renseignements sur les organismes.....	14
1.18. Renseignements supplémentaires .....	15
2. Analyse.....	17
2.1. Expertises techniques.....	17
2.2. Séquence de l'évènement.....	22
2.3. Recherche des causes de l'évènement.....	23
3. Conclusion .....	31
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement .....	31
3.2. Causes de l'évènement .....	31
4. Recommandations de sécurité .....	33
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement .....	33
4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement .....	33

## GLOSSAIRE

AFIS	<i>Aerodrome flight information service</i> - service d'information de vol d'aérodrome
BAAP	Brigade aérienne d'appui et de projection
BFSA	Brigade des forces spéciales air
CEAM	Centre d'expertise aérienne militaire
CFA	Commandement des forces aériennes
ET	Escadron de transport
IFG	<i>Intermediate flotation gear</i> - équipement de roue à portance intermédiaire
kt	<i>Knots</i> - nœuds (1 nœud vaut 1,852 km/h)
lb	<i>Pounds</i> - livres (1 livre vaut 0,45 kg)
MANEX	Manuel d'exploitation
PCB	Pilote commandant de bord
PIL	Pilote

## SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 15 février 2021 à 15h30

Lieu de l'évènement : aérodrome de Blois Le Breuil (LFOQ)

Organisme : armée de l'Air et de l'Espace (AAE)

Commandement organique : commandement des forces aériennes (CFA)/brigade aérienne d'appui et de projection (BAAP) et brigade des forces spéciales air (BFSA)

Unité : 62<sup>e</sup> escadron de transport, escadron de transport (ET) 3/61 Poitou

Aéronef : DHC-6-Twin Otter Serie 300, immatriculé F-RACA

Nature du vol : entraînement

Nombre de personnes à bord : 2

### Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

Le 15 février 2021, sur l'aérodrome de Blois Le Breuil, un DHC-6-Twin Otter Series 300 de la base aérienne 123 d'Orléans Bricy effectue une séance de tours de piste de jour. Cet aéronef est équipé d'un kit de roues de grand diamètre et à basse pression (IFG) depuis dix jours. La séance du jour consiste à réaliser des tours de piste standards et des atterrissages courts. Lors du cinquième atterrissage, vers 13h33, le pilote commandant de bord (PCB) est aux commandes en place droite. Il souhaite poser l'avion près du seuil de la piste 12/30 bitumée, avec un vent traversier droit de 13 kt et des rafales à 18 kt. Dès le contact avec le sol, l'équipage perçoit un crissement des pneus. L'avion se déporte à droite. L'aile droite se soulève et l'aile gauche touche le sol dans une embardée à droite. L'avion sort de la piste à droite et s'arrête sur une piste en herbe, à 30 mètres du bord de la piste bitumée.

### 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 de sécurité adjoint (BEA-É) ;
- un enquêteur expert en facteurs organisationnels et humains (BEA-É) ;
- un enquêteur de première information ;
- un pilote ayant une expertise sur DHC-6-Twin Otter ;
- deux mécaniciens vecteur ayant une expertise sur DHC-6-Twin Otter ;
- un mécanicien avionique ayant une expertise sur DHC-6-Twin Otter ;
- un médecin breveté supérieur de médecine aéronautique.

### Autres experts consultés

- direction générale de l'armement Essais propulseurs (DGA EP)/division évaluation des systèmes aéropropulsifs (DESA)/restitution des enregistreurs d'accidents (RESEDA) ;
- direction générale de l'armement Techniques aéronautiques (DGA TA).

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 VFR)

Type de mission : entraînement

Dernier point de départ : base aérienne 123 (BA 123) d'Orléans Bricy (LFOJ)

Heure de départ : 12h37

Zone de travail : aérodrome de Blois Le Breuil (LFOQ)

Point de retour prévu : BA 123

#### 1.1.2. Déroulement

##### 1.1.2.1. Contexte de la journée

Deux vols sont prévus pour la journée du 15 février 2021. Ces vols sont référencés comme des séances d'entraînement de tours de piste standards avec des « *stop and go* ». Pour l'unité, ce type d'entraînement consiste à se poser et s'arrêter sur une distance réduite et redécoller depuis ce point sur une distance aussi courte que possible. Une grande précision sur le point d'atterrissage est donc recherchée.

Le premier vol de la journée est réalisé avec un équipage composé d'un pilote commandant de bord, d'un pilote et d'un mécanicien embarqué. Le commandant de bord participe au second vol de la journée, avec un autre pilote.

Le Twin Otter est en configuration *Intermediate flotation gear* (IFG), modification très récente du train d'atterrissage. Le centrage est dans les normes. Cependant pour améliorer le centrage, une roue de train principal est positionnée à l'extrémité arrière de la soute. Ce premier vol est une séance de tours de piste sur l'aérodrome d'Orléans Bricy, durant laquelle les approches sont effectuées avec un vent traversier venant de la gauche.

##### 1.1.2.2. Préparation du vol

La préparation du second vol de la journée, prévu sur l'aérodrome de Blois Le Breuil est faite par le pilote (PIL), sous la forme d'un briefing standard, quelques minutes avant le décollage. Durant ce briefing, l'équipage identifie un vent traversier venant de la droite à Blois, contrairement au vol du matin au cours duquel le vent venait de la gauche. Aucun avitaillement n'est effectué entre les deux rotations.

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

L'équipage, composé du PCB en place droite et du PIL en place gauche, décolle vers 12h37. Le vol est réalisé sans la roue de train principal embarquée pour le vol du matin, ni le mécanicien. Comme prévu lors du briefing avant vol, l'équipage s'intègre dans le circuit de piste de Blois Le Breuil et réalise des tours de piste standards avec comme procédure d'atterrissage des « *stop and go* ».

Les exercices sont effectués sur la piste 12, le vent venant du 210° pour une force estimée à 13 kt avec des rafales à 18 kt.

Pour les trois premiers exercices, le PIL est aux commandes. L'angle au vent pour ces tours de piste est bien établi plein travers droit de l'appareil. Le premier de ces tours de piste est effectué avec les volets de courbure sortis à 20 degrés d'angle, les deux suivants avec les volets pleins sortis à 37,5°.

Pour les tours de piste suivants, le PCB en place droite prend les commandes et effectue un premier poser avec une présentation avec les volets à 20°. Pour son second tour de piste, objet de l'évènement, le PCB se présente avec les volets à 37,5°.

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

L'axe de piste est au cap 122°. Le vent est annoncé par l'agent de l'AFIS<sup>1</sup> venant du 210° pour une vitesse mesurée de 13 kt avec des rafales à 18 kt. L'approche se déroule donc avec un vent plein travers droit.

En finale, le PCB effectue les actions vitales et le contrôle des éléments de vol afin de réaliser un atterrissage de précision sur la plus courte distance possible. À l'annonce du passage des cinquante pieds de hauteur, en raison du vent, la vitesse de l'avion est maintenue, ainsi que la puissance moteur.

---

<sup>1</sup> Aerodrome Flight Information Service – service d'informations de vol d'aérodrome.

L'approche finale est conduite avec une forte dérive à droite. À 13h33, l'atterrissage est effectué sur le train principal, l'avion incliné à droite pour contrer le vent. Immédiatement après le premier contact des roues avec la piste, un crissement retentit, accompagné d'une fumée blanche visible depuis la tour de contrôle.

L'avion se met le nez dans le vent, en basculant du côté de l'aile gauche, malgré les actions du PCB aux commandes. Le PIL en place gauche, constatant l'inefficacité des manœuvres du PCB pour rétablir la situation, décide d'intervenir en prenant les commandes de l'appareil et tenter de rétablir la trajectoire. Il remet brièvement la puissance sur le moteur droit, sans effet sur la trajectoire. L'avion continue sa bascule à gauche et vers l'avant. Il sort de la piste principale par la droite, pénètre sur la piste en herbe adjacente et retombe sur le train d'atterrissage droit. Récupérant le contrôle de la trajectoire, le PIL immobilise l'appareil sur la piste en herbe. Puis l'équipage effectue sans encombre un roulage vers le parking. Une fois l'avion arrêté au parking, après trois tentatives infructueuses pour actionner le frein de parc, l'équipage décide d'utiliser les cales et procède à la coupure des moteurs.

L'aéronef est endommagé et l'équipage est indemne.

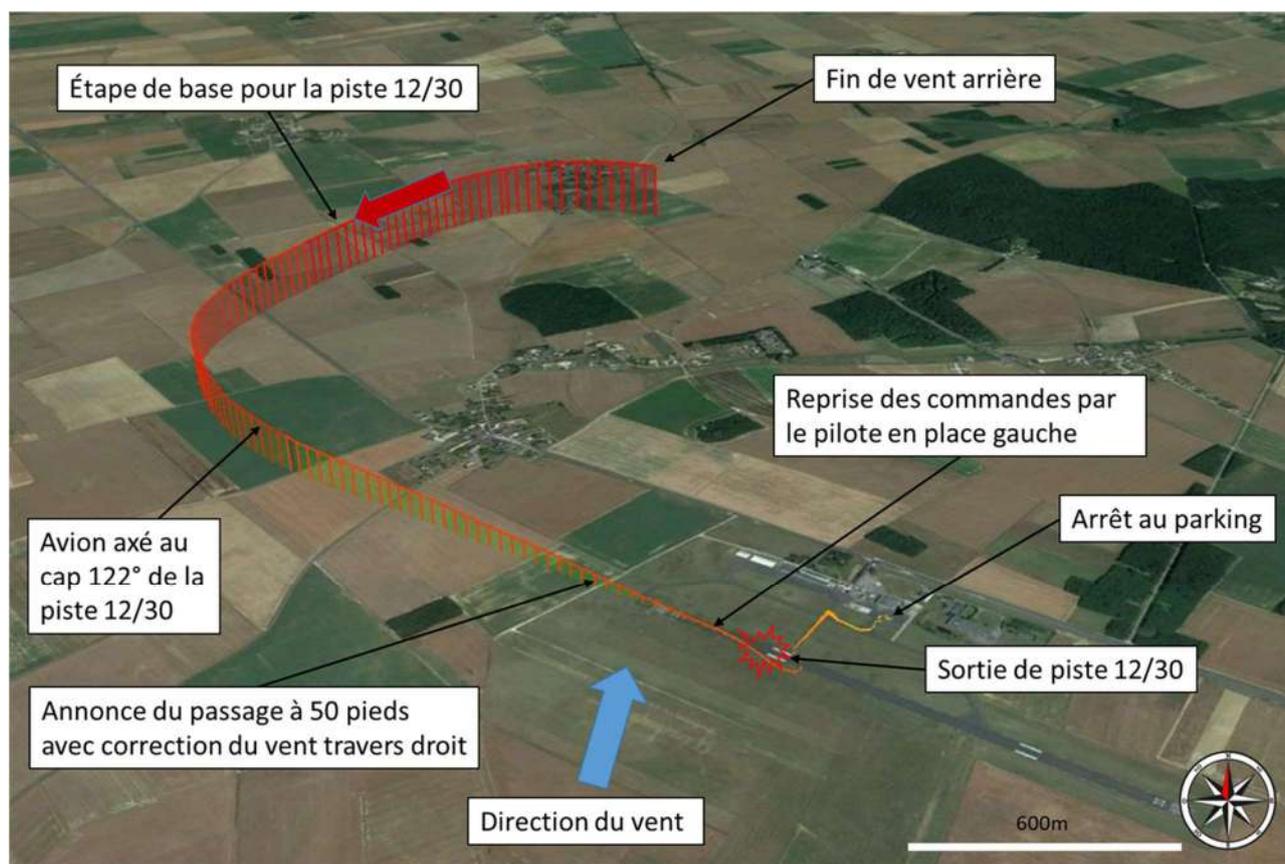


Figure 1 : trajectoire finale du vol

### 1.1.3. Localisation

- Lieu :
  - pays : France
  - département : Loir et Cher (41)
  - commune : Villefrancœur
  - coordonnées géographiques : N 47°40' 47" / E 001°12'21"
  - hauteur du lieu de l'évènement : au sol
- Moment : jour
- Aérodrome au moment de l'évènement : Blois Le Breuil (LFOQ)

### 1.2. Dommages corporels

Le commandant de bord et le pilote sont indemnes.

### 1.3. Dommages à l'aéronef

L'avion est endommagé.

### 1.4. Autres dommages

Une rainure sur la piste principale revêtue de l'aérodrome a été creusée par l'aile gauche de l'avion.

### 1.5. Renseignements sur l'équipage

#### 1.5.1. Commandant de bord

- Âge : 44 ans
- Unité d'affectation : ET 3/61 Poitou
- Fonction dans l'unité : OUO-S<sup>2</sup> C130H Hercules, anciennement OUO-S Twin Otter
- Formations :
  - qualifications : instructeur C130H Hercules et instructeur Twin Otter
  - école de spécialisation : école de l'aviation de transport (EAT)
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Twin Otter	sur tout type	dont Twin Otter	sur tout type	dont Twin Otter
Total (h)	7 900	705	163	33	39	3

- Date du précédent vol sur Twin Otter : 15 février 2021, configuration IFG

#### 1.5.2. Pilote

- Âge : 40 ans
- Unité d'affectation : ET 3/61 Poitou
- Fonction dans l'unité : chef pilote
- Formations :
  - qualifications : instructeur C160 Transall et pilote Twin Otter
  - école de spécialisation : EAT
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Twin Otter	sur tout type	dont Twin Otter	sur tout type	dont Twin Otter
Total (h)	6 124	108	137	41	14	10

- Date du précédent vol sur Twin Otter : 11 février 2021, configuration IFG

### 1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de l'Air et de l'Espace
- Commandement organique d'appartenance et brigades concernées : CFA, BAAP et BFSA
- Organisme de maintenance : INÉO, société Blois Aéro Service (BAS)
- Aérodrome de stationnement : Orléans Bricy (Loiret)
- Unité d'affectation : ET 3/61 Poitou
- Type d'aéronef : DHC-6 Twin Otter Series 300

<sup>2</sup> OUO-S : officier d'utilisation opérationnelle-spécial.

– Configuration : version parachutistes<sup>3</sup>

	Type-série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis
Cellule	DHC-6-300	730	15 699	GV3 <sup>4</sup> : 261 et VP <sup>5</sup> : 8
Moteur droit	PT6 A-27	42273	11 267	RG <sup>6</sup> : 3 303
Moteur gauche	PT6 A-27	42215	11 209	RG : 3 303
Hélice droite	HC-B3TN-3D	BVA 20069	464	
Hélice gauche	HC-B3TN-3D	BVA 23406	448	
Nombre d'atterrissages	72 cycles depuis l'équipement en configuration IFG			

Une modification du train principal a été réalisée le 4 février 2021 avec l'installation d'un kit type IFG, constitué de nouvelles jantes et de roues de plus grand diamètre. Les freins sont modifiés ainsi que la fourche avant du train auxiliaire.

#### 1.6.1. Maintenance

L'examen de la documentation témoigne d'un entretien conforme au manuel d'entretien approuvé.

#### 1.6.2. Performances

Les performances de l'aéronef dans cette configuration et selon les conditions météorologiques du jour sont compatibles avec le vol concerné et autorisent l'utilisation de la piste de l'aérodrome de Blois Le Breuil.

La modification de la taille des roues principales et auxiliaires influe cependant sur les performances. Ainsi, sur la version IFG, la distance d'accélération-arrêt est majorée par rapport à la version standard.

#### 1.6.3. Masse et centrage

La masse ainsi que le centrage sont dans le domaine d'emploi de l'aéronef (cf. 2.1.4.).

L'installation de l'option IFG a entraîné une augmentation de masse de l'ordre de 175 lb au lieu de 110 lb, annoncée par le constructeur.

#### 1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F-34
- Quantité de carburant au décollage : 2 000 lb
- Quantité de carburant au moment de l'évènement : 1 575 lb

### 1.7. Conditions météorologiques

#### 1.7.1. Prévisions

Les prévisions météorologiques sur l'aérodrome de Blois Le Breuil donnent un vent du 210°, pour 14 kt, et un ciel couvert sans précipitation.

#### 1.7.2. Observations

L'agent AFIS de l'aérodrome de Blois Le Breuil annonce à 13h30, pour la cinquième approche, un ciel couvert et un vent du 210° pour 13 kt avec des rafales à 18 kt.

### 1.8. Aides à la navigation

Tous les Twin Otter de cet escadron sont équipés d'EFIS<sup>7</sup> en place gauche uniquement, associé à deux GPS. Ils sont équipés également d'un radar météo, d'une radio sonde et de divers instruments de radionavigation.

<sup>3</sup> Version parachutistes : version soute lisse.

<sup>4</sup> GV3 : troisième grande visite.

<sup>5</sup> VP : visite périodique.

<sup>6</sup> RG : révision générale.

<sup>7</sup> EFIS : *electronic flight information system* - système d'information de vol électronique (tableau de bord électronique regroupant un certain nombre d'instruments de bord, permettant un gain de poids, d'espace et donnant une meilleure lisibilité des informations).

### 1.9. Télécommunications

L'appareil est équipé de deux postes radio VHF<sup>8</sup>, d'un poste radio V/UHF<sup>9</sup> et d'un poste radio HF<sup>10</sup>. Au moment de l'évènement l'équipage est en liaison radio avec l'agent AFIS de Blois Le Breuil via un poste VHF.

### 1.10. Renseignements sur l'aérodrome

L'aérodrome de Blois Le Breuil est situé sur trois communes : Villefrancœur, la Chapelle-Vendômoise et Landes-le-Gaulois. Il dispose d'un service AFIS. L'agent AFIS est habitué à travailler avec les équipages de l'escadron 3/61 « Poitou ». Une distance de cinquante kilomètres sépare ce terrain de la base aérienne de stationnement de l'aéronef, ce qui représente un temps de vol de 15 minutes. Cet aérodrome permet de s'entraîner en optimisant le temps de vol et de bénéficier d'un environnement aéronautique peu chargé en trafic aérien.

L'aérodrome est doté de six pistes : une piste en dur et cinq pistes en herbe. La piste 12/30, utilisée lors de l'évènement, est la seule piste revêtue. Elle mesure 1 250 mètres de long pour 30 mètres de large. Toutes les communications radio se font sur la fréquence AFIS de l'aérodrome.

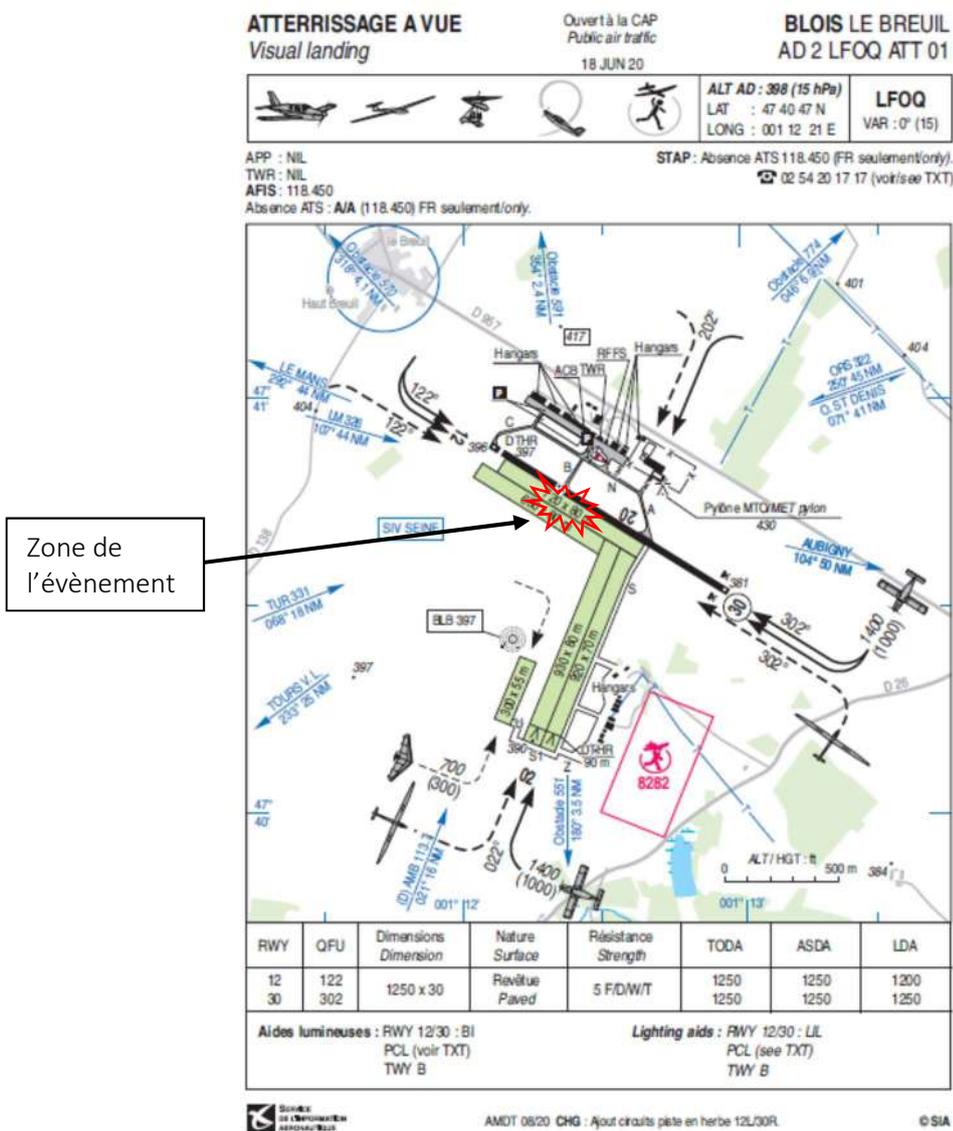


Figure 2 : extrait de la carte d'aérodrome VAC<sup>11</sup> de Blois Le Breuil

<sup>8</sup> VHF : very high frequency - très haute fréquence.  
<sup>9</sup> V/UHF : very/ultra high frequency - très/ultra haute fréquence.  
<sup>10</sup> HF : high frequency - haute fréquence.  
<sup>11</sup> VAC : visual approach chart - carte d'approche et d'atterrissage à vue.

### 1.11. Enregistreur de bord

L'aéronef est équipé d'un enregistreur de vol allégé, qui permet notamment un suivi de la maintenance de l'appareil et l'exploitation d'un nombre limité de paramètres de vol, à des fins d'analyse et de débriefing pour les missions de l'escadron. Les informations enregistrées ont été récupérées et sont exploitables.

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

#### 1.12.1. Examen de l'aéronef

Les dégradations suivantes ont été constatées :

- les surfaces de l'extrados et de l'intrados de l'extrémité de la voilure gauche sont gondolées et enfoncées ;
- le bord de fuite de l'extrémité de la voilure gauche est détérioré ;
- le roulement de la charnière de fixation centrale de la gouverne de direction est détruit ;
- les blocs de compression gauche et droit des trains d'atterrissage sont déformés ainsi que les logements de leurs pions de centrage ;
- les trains d'atterrissage principaux sont endommagés ;
- le saumon gauche est fortement détérioré.

Un examen complémentaire de vérification de symétrie de l'ensemble de l'avion a été réalisé. Ce bilan met en évidence que l'appareil reste dans les valeurs limites de tolérance du constructeur.



Figure 3 : vues des dommages de l'aéronef

### 1.12.2. Examen de la zone de l'accident

Des traces de pneus sont identifiées sur la piste à plusieurs endroits, notamment une première trace courte puis une seconde plus longue déviant vers la droite jusqu'à la sortie de piste. Deux traces de peinture se trouvent sur la trajectoire de sortie de piste.



Figure 4 : vue de la piste 12 avec traces

La seule dégradation constatée à l'occasion de cet accident sur l'axe de piste en dur est une trace sous forme d'une rainure bien marquée en fin de trajectoire. Cette rainure est profonde de quelques millimètres sur environ 10 millimètres de largeur.

À la sortie de la piste en dur, vers la fin de trajectoire, plusieurs traces bien marquées du train principal et de la roulotte de nez sont observées sur la piste en herbe contigue.

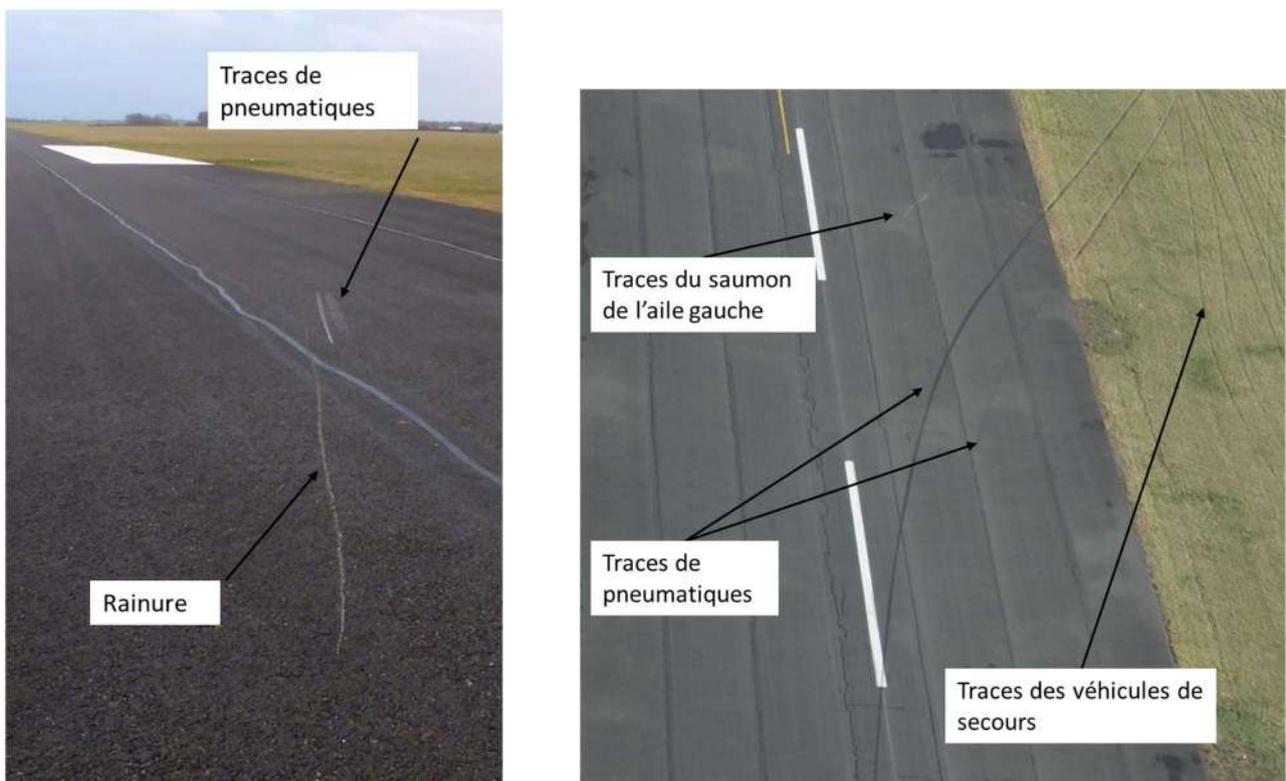


Figure 5 : traces sur les pistes

### 1.13. Renseignements médicaux

#### 1.13.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical :
  - type : visite semestrielle à l'unité (VSU), le 23 septembre 2020 en référence<sup>12</sup> de la visite en centre d'expertise médicale personnel navigant (CEMPN), en date du 6 septembre 2019
  - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : néant

#### 1.13.2. Pilote

- Dernier examen médical :
  - type : CEMPAN, en date du 14 décembre 2020
  - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : néant

### 1.14. Incendie

Sans objet.

### 1.15. Questions relatives à l'organisation des secours

L'agent AFIS déclenche la procédure de secours en alertant le service de protection et d'incendie de l'aérodrome immédiatement après l'atterrissage, réagissant instantanément à la perception du crissement important et anormal au poser de l'avion.

Simultanément, l'agent de sécurité incendie, en alerte permanente sur la fréquence commune de l'aérodrome, intervient et rejoint l'avion au parking.

Après constatation de l'absence de blessure pour l'équipage ou de danger immédiat, l'agent de sécurité est désengagé.

L'équipage ne consulte pas le service médical suite à cet événement.

### 1.16. Essais et recherches

L'exploitation des données de l'enregistreur est confiée à RESEDA.

Les expertises du saumon gauche, des pneumatiques, des freins et des blocs amortisseurs sont confiées à la DGA TA.

L'analyse des facteurs organisationnels et humains est réalisée par le BEA-É.

### 1.17. Renseignements sur les organismes

#### 1.17.1. Base aérienne 123

La Base Aérienne 123 d'Orléans Bricy « Charles PAOLI » est située à une quinzaine de kilomètres à l'ouest d'Orléans (45). Cette base aérienne accueille diverses unités dont l'escadron de transport Poitou.

#### 1.17.2. Escadron de Transport 3/61 Poitou

L'escadron de transport 3/61 Poitou est une unité de transport de l'armée de l'Air et de l'Espace, dotée de DHC-6-300 Twin Otter, et d'autres avions de transport.

Cette unité réalise des missions partout dans le monde, sur tous les types de plateformes aéronautiques, même sommaires.

---

<sup>12</sup> Référence : Instruction n° 4000/DRH-AA/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.

### 1.17.3. Blois Aéro Services (BAS)

La société INÉO est titulaire des marchés de soutien de la flotte des Twin Otter de l'AAE. Cette société sous-traite les opérations de maintenance à la société BAS. Cette dernière est certifiée PART 145 sous l'agrément européen FR.145.552. L'atelier de maintenance est basé sur l'aérodrome de Blois Le Breuil, depuis 2003. Cette société est composée d'une équipe de techniciens qui interviennent dans tous les domaines liés à la maintenance de l'aviation d'affaire.

## 1.18. Renseignements supplémentaires

### 1.18.1. Le Twin Otter DHC-6 Series 300

Le Twin Otter est un avion de transport bi-turbopropulseur à ailes hautes et train d'atterrissage tricycle fixe, qui peut assurer des missions de transport de fret, de passagers et de parachutage.

Cet aéronef est conçu pour être opéré en monopilote. L'armée de l'Air et de l'Espace l'utilise en monopilote hors formation des pilotes, avec un navigateur, pour des missions spécifiques. Le poste de pilotage gauche est rénové (EFIS), contrairement à celui de droite. Récemment, les aéronefs de l'escadron ont été dotés de nouveaux pneus plus larges (kit IFG), pour permettre une meilleure adaptation à tous les types de terrains. L'aéronef est limité à 20 kt de vent de travers à l'atterrissage sur piste revêtue.

Sa conception et ses qualités aérodynamiques en font un avion à décollage et à atterrissage courts (ADAC) adapté aux terrains sommaires de très petites dimensions.



Figure 6 : Twin Otter en version standard

### 1.18.2. Le kit IFG

Le kit IFG permet de poser l'avion sur des terrains sommaires, grâce à des pneus basse pression de plus grand diamètre. Le constructeur de l'avion n'impose aucune formation particulière des équipages à la suite de cette modification. La documentation technique, datant de septembre 2010, est mise à disposition des utilisateurs par le constructeur Viking Limited, les limitations associées sont reprises en partie dans le manuel d'exploitation.



Figure 7 : Twin Otter en version IFG



Figure 8 : comparaison entre une roue standard (1) et une roue du kit IFG (2)

## 2. ANALYSE

L'analyse s'appuie sur les témoignages de l'équipage, ceux des témoins et le résultat des expertises techniques. La première partie présente les résultats des expertises, la deuxième décrit la séquence de l'évènement et la dernière en identifie les causes.

### 2.1. Expertises techniques

Les expertises techniques ont été conduites sur l'ensemble structurel de l'aéronef, les pneumatiques, les freins, les blocs amortisseurs, les gouvernes ainsi que sur la reconstitution de la trajectoire.

#### 2.1.1. Expertise de l'ensemble structurel de l'aéronef

L'inspection de l'aéronef met en évidence des déformations structurelles. Des éléments des amortisseurs et des pneumatiques ont été déformés et détériorés.

Des déformations sont observées au niveau de la gouverne de direction, d'une partie des volets externes gauches ainsi que d'une partie interne de l'extrémité de l'aile gauche.

Un contrôle dimensionnel de l'aéronef fait apparaître un état très proche de la limite du gabarit de référence.

##### 2.1.1.1. Saumon d'aile gauche

Les constatations faites sur le saumon d'aile gauche démontrent que l'intrados a subi un enfoncement et des frottements en arc de cercle sur l'avant.



Figure 9 : choc et frottements à l'avant de l'intrados du saumon

Ces traces démontrent que le saumon de l'aile gauche de l'avion a glissé, au sol, alors que l'avion continue d'avancer sur son axe, en même temps qu'il subit une embardée par la droite.

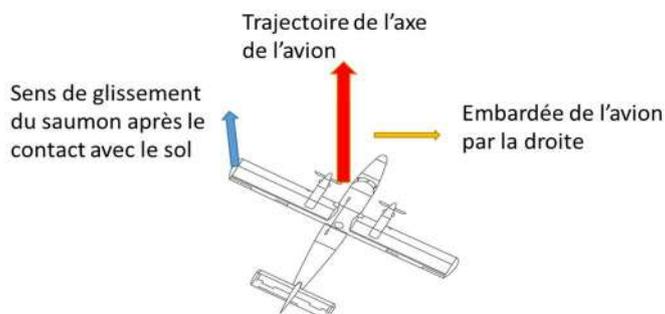


Figure 10 : sens de glissement et embardée à droite de l'avion

Les constatations faites sur le saumon gauche confirment le heurt de l'aile gauche avec le sol et la glissade de l'avion à droite.

#### 2.1.1.2. Roues et pneumatiques

Aucun dommage ou anomalie n'est observé sur la roue du train auxiliaire ni sur la roue principale droite. La roue principale gauche présente un plat important sur la bande de roulement pneumatique et ne présente pas de dommage sur la jante. Ce plat est orienté à gauche et vers l'avant, dans le même sens que les frottements observés sur le saumon d'aile gauche. Ce plat est probablement dû à la glissade de l'aéronef sur la gauche après le contact de l'aile avec le sol.



Figure 11 : plat visible sur le pneumatique du train principal gauche

**Les observations relevées sur la roue principale gauche confirment que l'avion a glissé après le toucher de l'aile gauche sur le sol.**

#### 2.1.1.3. Blocs de freins

Le système de frein du kit grande roue monté sur l'aéronef a très peu d'heures/cycles de fonctionnement. Il est composé d'un bloc de frein gauche et d'un bloc de frein droit. Chacun d'eux comporte quatre pistons, une connexion hydraulique, un orifice de purge et un disque de frein solidaire par roue.

Le bloc de frein droit ne présente pas d'anomalie mécanique.

Le disque du bloc de frein gauche présente une couleur brune caractéristique d'un échauffement anormal. L'ensemble de frein (bloc et disque) gauche a visiblement plus chauffé en utilisation que l'ensemble droit. Les contrôles d'usure et dimensionnels ne révèlent pas d'écart.



Figure 12 : différences entre disques de freins gauche et droit.

**L'expertise du frein gauche permet de montrer qu'il a été utilisé davantage que le droit, à un moment donné.**

#### 2.1.1.4. Blocs amortisseurs

Le système est composé de deux blocs amortisseurs superposés par train.  
 Le bloc amortisseur du train principal droit ne présente aucune anomalie mécanique.  
 Le bloc supérieur de l'amortisseur gauche présente des marques de déformation sous forme d'ovalisation consécutives à un appui et à une torsion excessive.



Figure 13 : vue de l'ensemble bloc amortisseur du train principal gauche.

**Les déformations relevées sur le bloc amortisseur gauche sont consécutives à un appui prononcé et à une torsion excessive sur le train gauche lors de la glissade et du soulèvement du train droit.**

#### 2.1.1.5. Gouvernes et ailes

Les dommages observés sur le stabilisateur horizontal et sur le roulement inférieur de la gouverne de direction tendent à démontrer une prise de contact dissymétrique avec la piste, combinée vraisemblablement avec une vitesse verticale importante. L'aile droite se soulève avec le train principal droit et l'extrémité de l'aile gauche heurte le sol. Les dommages sur le volet externe gauche et une partie de l'aileron gauche indiquent qu'ils se sont trouvés écrasés par le transfert d'une grande partie de la masse de l'appareil alors en équilibre sur l'extrémité de l'aile gauche.

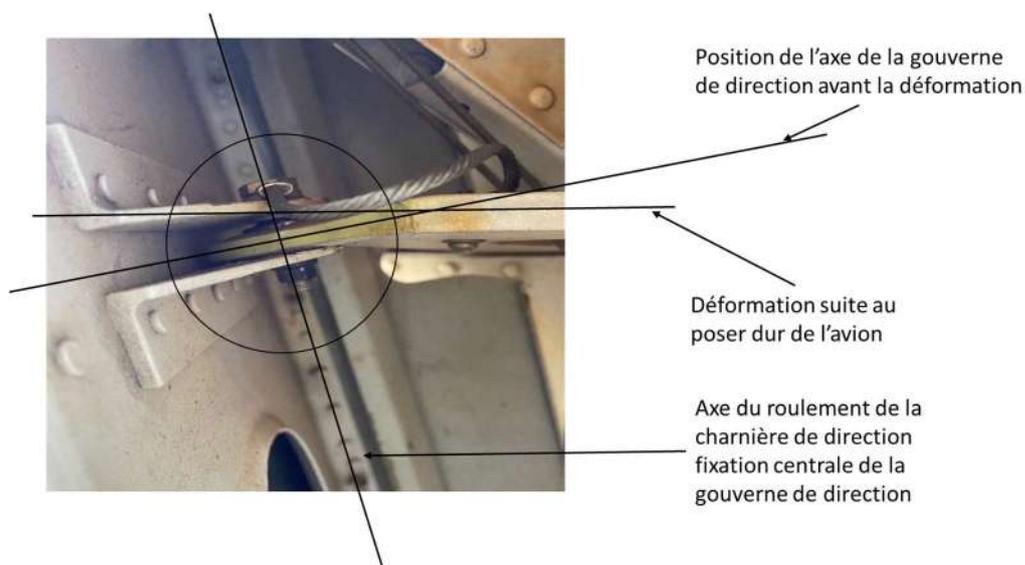


Figure 14 : dommages sur l'axe et le roulement de la gouverne de direction

**Les dommages relevés sur le stabilisateur horizontal et sur le roulement inférieur de la gouverne de direction apparaissent consécutifs au toucher dissymétrique de l'avion avec une vitesse verticale vraisemblablement importante.**

## 2.1.2. Expertise de l'enregistreur

### 2.1.2.1. Analyse des enregistrements de paramètres moteurs du vol et des éléments de vol

Les paramètres des moteurs extraits confirment le respect des limitations prévues pour chaque moteur et pour chaque paramètre durant le vol. Ils montrent qu'aucune défaillance technique n'a eu lieu avant l'évènement.

**L'aéronef a fonctionné de manière nominale jusqu'à l'évènement.**

### 2.1.2.2. Étude du bruit de l'impact et de la perception du choc avec la piste

Sur l'enregistrement provenant des micro-casques de l'équipage, on identifie le signal d'avertisseur de décrochage avion. Simultanément, un impact avec le sol est audible et visualisable sur le spectre de l'enregistrement.

Cet avertisseur retentit lorsque l'incidence de l'aéronef approche celle du décrochage qui a pour conséquence la perte totale de portance de l'avion. L'équipage recherche cette situation systématiquement, car plus le temps entre le retentissement de l'alarme sonore et le toucher des roues est court, plus l'exercice est considéré comme réussi.

Ces sons simultanés confirment que le pilotage correspond à ce que le pilote souhaitait réaliser.

**L'étude des sons dans le cockpit démontrent un toucher avec la piste, simultanément au retentissement de l'avertisseur de décrochage.**

### 2.1.2.3. Reconstitution de la configuration machine en courte finale

L'analyse des éléments enregistrés permet de définir les paramètres de présentation de l'aéronef en courte finale, avec des volets sortis à 37,5°, une vitesse sol de 59 kt, une vitesse air de 65 kt, une vitesse verticale de -2,74 m/s et un cap vrai au 139°.

Toutefois la fréquence d'enregistrement des paramètres est trop faible pour restituer parfaitement la cinématique de l'évènement, et le nombre de paramètres enregistrés est insuffisant.

**La fréquence d'enregistrement est trop faible pour obtenir des informations précises du moment de l'évènement. Les paramètres enregistrés ne sont pas assez nombreux pour cette reconstitution.**

### 2.1.3. Analyse des traces au sol

L'observation des traces au sol montre une discontinuité de la trace du train principal gauche, (cf. 1.12.2. figure 4). Cette trace débute 23 mètres après le seuil de piste sur une distance de 5,5 mètres puis reprend à 43,5 m du seuil de piste jusqu'à la sortie de la piste principale 12/30. Cette interruption de trace caractérise un rebond.

**L'exploitation du marquage de la piste par les traces de l'aéronef laissées au sol et le ressenti de l'équipage, tendent à établir une trajectoire au sol caractérisée par un rebond.**

## 2.1.4. Étude comparative du centrage

### 2.1.4.1. Comparaison du centrage du Twin Otter en configuration standard et en configuration IFG

Le Twin Otter est, par conception, un avion centré particulièrement avant. Sa plage de centrage longitudinal en configuration d'utilisation standard se situe entre 20% et 36% en fonction de la masse.

Le centrage en version standard, avant la modification IFG, avec un équipage à deux pilotes et une quantité de carburant de 2 000 lb nécessite obligatoirement d'embarquer du personnel ou du fret en fond de soute pour être en conformité. Sinon, le centrage se trouve hors norme.

Carburant 2000 lb  
2 Pilotes  
Configuration Standard

	Masse	Centrage
● Décollage	9877 lb	18,94 %
● Atterrissage	9477 lb	19,00 %

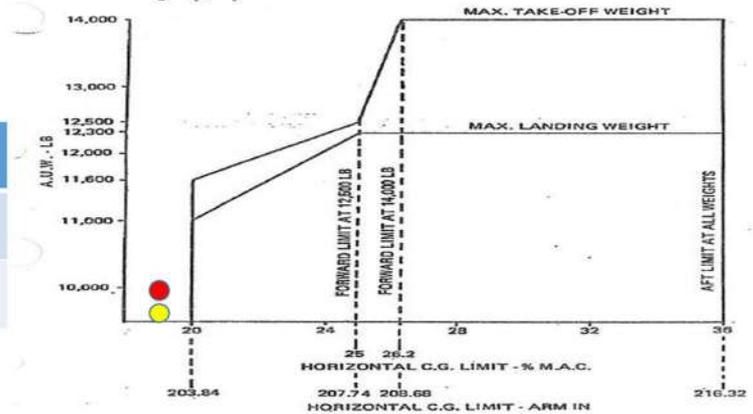


Figure 15 : simulation du centrage du Twin Otter F-RACA en configuration standard dans les conditions du vol de l'accident

Sur l'avion non modifié, et avec un plein de carburant de 2 000lb, comme lors de l'évènement, le vol n'était pas réalisable sans fret à l'arrière.

### 2.1.4.2. Comparaison entre le vol du matin et le vol de l'après-midi

Pour le vol du matin, l'équipage dispose de 2 400lb de carburant et embarque 1 mécanicien et une roue en soute. Dans cette configuration, le centrage est dans les normes.

Carburant 2400 lb  
2 Pilotes + 1 mec + 1 roue  
Configuration IFG

	Masse	Centrage
● Décollage	11517 lb	25,83 %
● Atterrissage	10917 lb	26,28 %

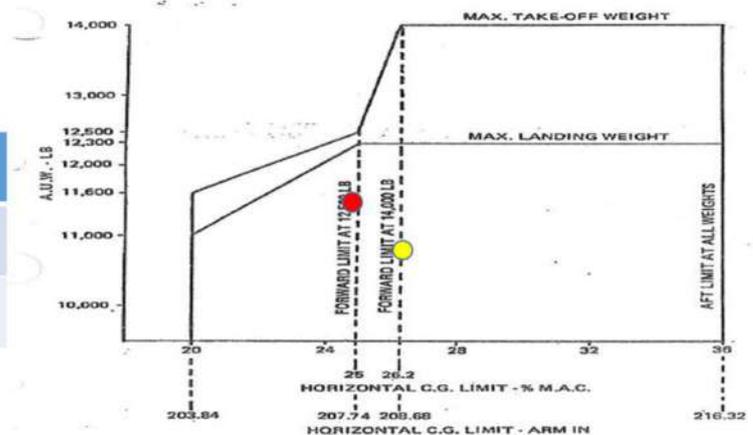


Figure 16 : centrage du vol du matin avec 1 MEC et 1 roue en soute

Repartant pour le vol de l'après-midi sans refaire les pleins, l'avion est chargé de 2 000 lb de carburant et aucun lest n'est rajouté à l'arrière.

Carburant 2000 lb  
2 Pilotes  
Configuration IFG

	Masse	Centrage
● Décollage	11042 lb	22,00 %
● Atterrissage	10542 lb	22,21 %

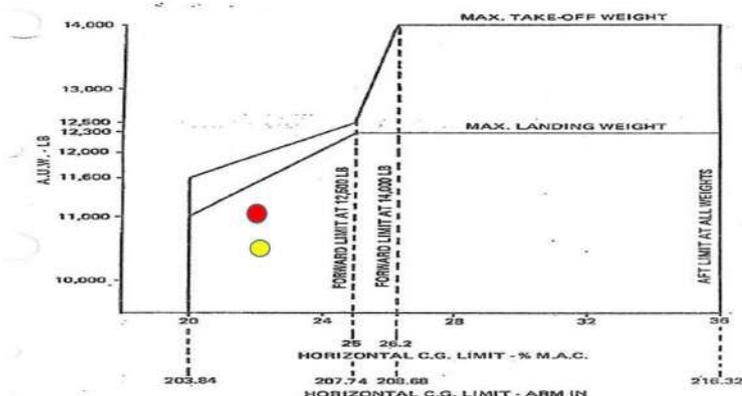


Figure 17 : centrage lors du dernier vol du Twin Otter F-RACA (accident)

Avec le kit IFG, la quantité de carburant transportée lors du vol de l'évènement permet d'être dans l'enveloppe de vol, même sans lest à l'arrière.

**Pour le vol de l'après-midi, le vol sans lest à l'arrière est possible sur l'avion modifié.**

## 2.2. Séquence de l'évènement

La séquence de l'évènement est reconstituée à partir des données de l'enregistreur et du témoignage de l'équipage :

- l'avion se présente en courte finale avec les volets sortis à 37,5°, la vitesse sol est de 59 kt, avec un vent annoncé à 18 kt travers droit (80°), la vitesse air est de 64,6 kt pour une vitesse verticale de -2,74 m/s ;
- le PCB aux commandes débute l'arrondi ;
- le nez de l'avion est orienté au cap 139°, en correction de dérive liée au vent, pour une piste axée au 120° ;
- le PCB initie le décrochage pour axer l'avion selon l'axe de la piste au 120, en mettant du manche dans le vent, vers la droite, et du pied opposé à gauche pour assurer une trajectoire en non dérapage sol ;
- l'avertisseur de décrochage retentit simultanément à un premier contact avec le sol, sous forte vitesse verticale ;
- les pneus basse pression s'écrasent ;
- le décrochage de l'avion n'est pas complètement réalisé ;
- l'avion subit le rebond, puis revient au contact de la piste ;
- le dérapage de l'avion au second contact est estimé à 19° de l'axe de piste par la droite augmentant jusqu'à 24° après avoir parcouru une quinzaine de mètres ;
- un crissement prolongé d'une grande intensité se fait entendre immédiatement, avec des fumées blanches couvrant la partie arrière de l'avion ;
- l'aile droite de l'avion se soulève ;
- le PCB, essaie de rétablir l'avion en mettant du manche à droite pour annuler l'inclinaison de gauche et agit sur le palonnier gauche jusqu'à atteindre le plein débattement des commandes ;
- le PIL en place gauche, n'observant aucune évolution dans le contrôle de l'avion, prend les commandes alors que l'avion subit une forte inclinaison à gauche, en déséquilibre sur le train principal gauche et la roue avant ;
- il tente alors une augmentation de puissance du moteur droit afin d'éviter la sortie de piste, sans effet. Simultanément le bout de l'aile gauche touche la piste ;
- l'avion sort de la piste, la vitesse diminuant, retombe sur le train droit, l'aéronef est à nouveau contrôlable.

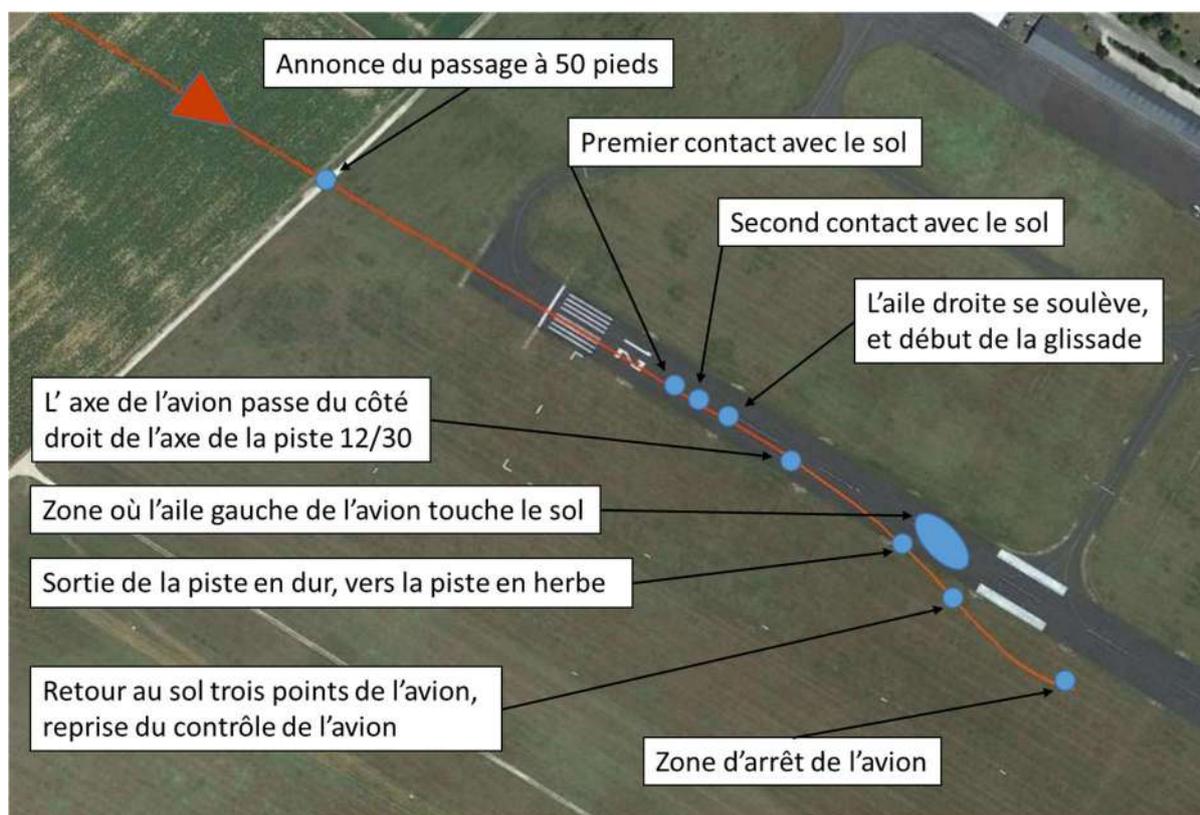


Figure 18 : reconstitution de la trajectoire en courte finale

## 2.3. Recherche des causes de l'évènement

### 2.3.1. Causes relevant du domaine technique

Les expertises réalisées sur les ensembles structurels de l'avion montrent que les dommages sont consécutifs à l'évènement.

**Tous les dommages constatés sont consécutifs à l'évènement.**

### 2.3.2. Causes relevant des facteurs organisationnels et humains

#### 2.3.2.1. Nature du vol

##### 2.3.2.1.1. Préparation du vol

La planification d'opportunité des vols de la journée a conduit à une désignation tardive du PCB pour ses vols. Par conséquent, il a eu peu de temps pour préparer le second vol.

Le vol du matin est programmé avec un équipage à deux pilotes et un lest conséquent à l'arrière.

Le briefing du second vol a pu être réalisé en fin de matinée, avant le repas, pour le vol prévu en début d'après-midi. Ce vol est réalisé à deux pilotes et sans lest particulier. En effet, avec la nouvelle configuration de l'aéronef, le centrage permet de voler sans lest à l'arrière, avec 2 000 lb de carburant. Ce centrage se trouve plus en avant que lors du vol du matin. Cette absence de lest n'étant pas possible sur l'avion non modifié, en entraînement, l'équipage est confronté à un centrage plus en avant que lors des vols d'entraînements auxquels il est habitué. L'équipage n'a pas anticipé les conséquences de cette situation.

Les conditions météorologiques sont similaires à celles du matin, seules la zone et l'orientation de la piste sont différentes.

**Pour le vol de l'après-midi l'équipage n'a pas anticipé les effets d'un centrage plus en avant que lors des missions d'entraînement sur l'avion non modifié.**

#### 2.3.2.1.2. Conditions aérologiques aux limites autorisées

Le vol est une séance d'entraînement de tours de piste au profit du pilote en place gauche. La mission prévoit la réalisation de tours de piste avec des « *stop and go* ». Chacun des membres de l'équipage devait réaliser trois tours de piste avec des atterrissages de précision. Le jour de l'évènement des rafales de vent de 18 kt sont annoncées à Blois. Les conditions météorologiques sont dans les normes d'emploi de l'aéronef mais proches de la limite de vent de travers. Cette dernière est à 20 kt, avec les volets positionnés à 37,5°, configuration recherchée pour les posers de précision.

Pour l'équipage, le vol ne revêt aucune exigence opérationnelle. Il ne présente aucune pression temporelle.

**La mission est un entraînement aux posers de précision dans des conditions aérologiques proches de la limite des normes d'emploi autorisées pour cet aéronef.**

#### 2.3.2.1.3. Progressivité des exercices

Les pilotes décident de réaliser chacun un premier exercice « *stop and go* » avec les volets réglés à 20° avant d'effectuer les atterrissages avec les volets à 37,5°. L'atterrissage en configuration 37,5° assure une meilleure précision du poser des roues en raison d'une forte diminution de la vitesse d'approche mais représente, dans les conditions de vent du jour, une réelle difficulté de pilotage en raison de l'angle important de dérive à annuler, de l'amplitude majorée de la variation d'assiette à appliquer, et de la moindre efficacité des commandes due à une vitesse d'approche moins élevée.

Cette organisation de séance permet de garantir une progressivité des exercices pour chacun des pilotes.

**L'organisation de la séance d'entraînement s'articule selon un accroissement progressif de la difficulté des exercices. Cette approche présente une cohérence pédagogique.**

#### 2.3.2.1.4. Poser par vent de travers

Le poser par vent de travers nécessite un pilotage précis, imposant un dosage et une action coordonnée sur les commandes au bon moment, sachant que les paramètres sont constamment évolutifs qu'il s'agisse de la vitesse, en décroissance durant l'arrondi, ou du vent par nature changeant à chaque instant du fait des rafales. La technique la plus utilisée et impérative sur le Twin Otter est l'approche en correction de dérive dite « en crabe ». Le nez de l'appareil ne pointe plus vers la piste mais est orienté au vent.

Sur ce type d'approche et lors de l'arrondi, il faut remettre le nez de l'avion dans l'axe de piste. Afin de ne pas endommager le train principal par un choc latéral, une action sur le palonnier opposé au vent devient nécessaire. Cette dernière génère une inclinaison qu'il convient de contrer au manche. L'architecture particulière de l'aéronef, notamment sa dérive de grande taille, accentue sa tendance à s'orienter face au vent. Ce phénomène est connu des pilotes et il est une des principales caractéristiques de comportement de l'aéronef dans des conditions de poser par vent de travers. Il faut alors au même moment accentuer la pression sur le palonnier opposé pour empêcher l'avion de partir en virage du côté du vent.

Dans cet évènement, l'équipage a initié trop tardivement l'action de décrochage, ce qui a rendu très délicat le contrôle de l'aéronef, installé en glissade sur la piste, malgré l'utilisation du plein débattement des commandes.

**Le poser par fort vent de travers aux limites d'emploi du Twin Otter, est particulièrement délicat et nécessite un pilotage très précis et réactif. La manœuvre de décrochage, initiée trop tardivement, est directement contributive de l'évènement.**

#### 2.3.2.1.5. Charge cognitive de l'exercice

Dans le cadre de leur activité opérationnelle, les pilotes doivent s'entraîner à se poser sur une zone précise. Ces atterrissages demandent une grande dextérité de pilotage. Le jour de l'évènement, les conditions aérologiques présentes sur l'aérodrome de Blois Le Breuil complexifient les atterrissages. Le vent est secteur plein travers droit de l'aéronef et les rafales sont annoncées à 18 kt, proches des limites du domaine d'emploi

de l'avion. La réalisation de posers de précision dans ces conditions nécessite de mobiliser des ressources cognitives significatives pour le pilote aux commandes.

Lors de l'évènement, le PCB est aux commandes de l'aéronef. Ce pilote, détenteur de deux qualifications de type, revient d'une mission à l'étranger de plusieurs mois en tant que PCB sur C130H. Au moment de l'évènement, il n'a pas volé sur Twin Otter depuis le mois d'octobre et a repris la semaine précédente. La reprise des vols sur un aéronef différent après plusieurs mois mobilise logiquement et de manière majorée ses ressources cognitives.

**Les posers de précision dans des conditions aérologiques difficiles alors que le PCB a repris récemment les vols sur cet aéronef mobilisent d'importantes ressources cognitives. Cette situation est propice à la survenue d'erreurs.**

#### 2.3.2.2. Erreur d'exécution à l'arrondi

##### 2.3.2.2.1. Biais d'habitude

La nouvelle configuration de l'aéronef entraîne une augmentation de la hauteur de la roulette de nez de près de 30 centimètres. Ainsi, lors du poser des roues, la roulette de nez est 30 centimètres plus basse qu'habituellement. Le centrage de l'aéronef est également légèrement en avant. Afin de poser l'aéronef en deux temps, le train principal puis la roulette de nez, il convient d'anticiper le déclenchement de l'arrondi et de majorer l'assiette à cabrer afin de compenser les effets de la nouvelle configuration. Les repères visuels extérieurs utilisés habituellement pour le poser du Twin Otter sont donc modifiés.

Le PCB, rentré récemment de détachement, est relâché lors d'un vol le jeudi de la semaine précédente sur cet aéronef modifié. Désigné directeur des vols pour le reste de la semaine, il ne revole pas sur Twin Otter jusqu'au lundi matin, jour de l'évènement.

Le pilote, qui a une très grande expérience passée sur cet avion, n'a fait que trois vols dernièrement sur l'aéronef équipé du kit IFG. Par ailleurs, les repères visuels et la gestuelle d'exécution mémorisés lors des nombreux vols réalisés sur Twin Otter en configuration standard, sont très différents. Le PCB est en cours d'acquisition de ces nouveaux repères. Ce point est accentué par la réalisation le matin même d'un vol avec un centrage de l'aéronef différent de celui de l'après-midi modifiant les repères précédemment retenus (cf. 2.1.4.).

**En raison d'un possible biais d'habitude, le PCB a probablement posé la roulette de nez de manière anticipée avec une grande énergie favorisant le rebond.**

##### 2.3.2.2.2. Biais d'habitude favorisé par une baisse d'attention du PCB

Le matin de l'évènement, le PCB réalise un premier vol d'entraînement au profit d'un pilote de l'escadron. Comme le vol de l'évènement, ce vol d'entraînement est une séance de tours de piste. L'équipage réalise à tour de rôle des tours de piste en faisant des « *stop and go* » et en travaillant les atterrissages de précision. Lors de ce vol, le PCB réalise deux tours de piste aux commandes, en multipliant de façon répétitive les atterrissages de précision, au nombre de huit sur une durée de 1h10. L'après-midi le PCB repart en vol avec un autre pilote pour une séance similaire.

L'évènement survient lors du 5<sup>e</sup> poser du vol de l'après-midi. Pour le PCB, c'est son 4<sup>e</sup> poser de la journée aux commandes.

**La répétition des mêmes exercices toute la journée a pu favoriser une baisse d'attention du PCB et contribuer à un potentiel biais d'habitude.**

### 2.3.2.2.3. Hypovigilance du PCB

Le contexte opérationnel est important pour cette unité. Il y a une forte récurrence des missions à l'étranger, avec des rythmes de vol importants. Le PCB et le pilote ont en effet réalisé plusieurs périodes hors métropole en 2020.

Les difficultés actuelles dans le domaine des ressources humaines au sein de l'unité, associées à la faible disponibilité des aéronefs pour l'entraînement, sont également source de fatigue physique. Les récupérations après les périodes d'éloignement, ou d'astreinte sur la base, ne peuvent pas toujours être prises. Le sommeil s'en trouve perturbé. Dans la circonstance, le PCB n'a pas bénéficié de phase de récupération consécutive à une opération extérieure et il sort de 48 heures de service de permanence base, avec une activité nocturne de service vers 2 heures du matin. De plus, le PCB étant qualifié sur C130H et Twin Otter et avec une perspective d'évolution de carrière associée à un changement d'aéronef très prochainement, ressent des difficultés à maintenir son niveau de compétence sur chacun des appareils. Cette situation génère des préoccupations quotidiennes et crée une fatigue psychologique qui est associée à une sensation de manque d'entraînement.

En outre, le PCB a subi une grande fatigue du fait d'une maladie contractée quelques semaines plus tôt.

Enfin, le vol a lieu après le repas, période qui est propice à une baisse de vigilance.

L'hypovigilance associée à la fatigue est notamment perceptible dès le premier vol du matin, où le PCB oublie de signer le cahier d'ordre avant son vol. Selon lui, c'est la première fois que cela lui arrive ce qui semble indiquer un certain niveau d'épuisement.

**Une hypovigilance induite par l'état général de fatigue du PCB peut être un facteur contributif de la survenue d'un biais d'habitude lors de cet évènement.**

### 2.3.2.3. Sous-évaluation du risque

#### 2.3.2.3.1. Perception erronée du risque par l'organisation de l'escadron

Peu de temps avant l'accident, l'aéronef a subi une modification des trains d'atterrissage, avec notamment l'installation de roues basse pression d'un plus grand diamètre, et de nouveaux freins. Ce kit est disponible en option dans le catalogue du constructeur de l'aéronef.

Avant la décision d'installation de ce kit, une recherche a été réalisée par le personnel de l'escadron sur les conséquences générées par ce changement. Aucune modification des paramètres de vol n'ayant été conseillée par les experts techniques du constructeur, le commandant d'escadron ne définit pas de compétence spécifique nécessaire associée à cette nouvelle configuration.

Aucun risque associé à la modification du train d'atterrissage n'a été perçu par l'escadron qui n'a pas développé de présentation formelle du kit pour chaque pilote, ni prévu un ou des vols spécifiques de formation.

Seul un vol de lâcher<sup>13</sup> avec un pilote précédemment lâché sur cette configuration suffit pour acquérir les particularités de pilotage engendrées par cette modification.

Les ressentis des premiers pilotes ayant été lâchés sur l'aéronef ainsi modifié sont transmis oralement lors du briefing avant vol :

- la roulette de nez a tendance à vibrer lors du décollage ;
- l'avion modifié a une tendance à poser trois points en configuration avec les volets à 37,5°.

Ces constatations ne sont associées à aucune procédure ou briefing en vol afin de rappeler aux pilotes ces particularités au décollage et à l'atterrissage.

**L'escadron n'a pas identifié de risque associé à la nouvelle configuration de l'aéronef. Seule une transmission orale des ressentis de chacun est réalisée lors du briefing. L'absence d'une formation formalisée au sein de l'escadron peut avoir favorisé une sous-évaluation du risque par les équipages.**

<sup>13</sup> Vol de lâcher : chaque pilote doit effectuer un vol d'accoutumance à la configuration, dans le but d'atteindre l'autonomie d'exploitation de l'aéronef. Le changement de configuration avion avec les roues demi-ballons ne nécessite pas d'effectuer une nouvelle qualification de type.

#### 2.3.2.3.2. Évaluation opérationnelle

L'évaluation opérationnelle n'a pas été réalisée par le CEAM avec des vols d'expérimentation par des pilotes d'essais. En conséquence, les équipages de l'escadron ne disposent pas de consignes d'exploitation validées par l'autorité d'emploi. Sur le fondement des informations transmises, l'autorité d'emploi n'a pas jugé utile de conduire une phase d'expérimentation auprès d'un centre expert. Les équipages découvrent par eux-mêmes les particularités au fur et à mesure des vols pour cette nouvelle configuration.

**Cette nouvelle configuration n'a pas fait l'objet d'un processus de validation d'emploi sous l'égide d'un centre d'expérimentation. L'autorité d'emploi, au vu du dossier présenté, a conclu qu'une évaluation n'était pas nécessaire.**

#### 2.3.2.3.3. Perception erronée du risque par l'équipage

En 2017, en configuration pleins volets, lors d'un atterrissage de précision dans des conditions aérologiques similaires, un Twin Otter a déjà heurté la piste avec l'un de ses saumons d'ailes. Suite à cet événement, l'escadron a modifié sa procédure en cas d'atterrissage par vent fort, en imposant une majoration de 5 kt de la vitesse en finale dans ce cas. Cette majoration de vitesse rend l'avion plus manœuvrant en augmentant l'efficacité des gouvernes.

Le Twin Otter est un avion léger. Une majoration de vitesse même minime a pour conséquence d'altérer l'efficacité d'un poser de précision en augmentant la distance de planer à l'atterrissage.

Pour cet exercice une majoration de vitesse n'a pas été appliquée. L'équipage qui connaît la nouvelle procédure, a sous-évalué le risque lié aux conditions aérologiques du moment en privilégiant la recherche de précision à l'atterrissage.

**Une perception erronée du risque aérologique au moment de l'évènement est à l'origine de la non majoration de la vitesse en finale.**

#### 2.3.2.4. Acceptation du risque

##### 2.3.2.4.1. Culture de la performance et acceptabilité du risque

L'équipage appartient à un escadron qui participe à des missions très spécifiques au profit des forces spéciales, où le temps de présence de l'avion sur le terrain doit être le plus court possible. Dans ce contexte, l'entraînement doit être exigeant afin de satisfaire les besoins opérationnels tout en garantissant la sécurité des équipages.

Il est centré sur l'atterrissage de précision en toutes conditions, en s'approchant parfois des limites d'emploi de l'aéronef.

Pour répondre à ces besoins, l'escadron a développé une forte exigence de performance devenue une constante culturelle partagée par tous. Dans ces conditions, les équipages ont progressivement développé une plus grande acceptabilité du risque. Dans ce cadre, le niveau de risque perçu par les équipages peut alors être sous-évalué par rapport au risque réellement encouru.

**Une culture de la performance imprègne fortement les équipages de l'escadron. Cette culture génère un niveau d'acceptabilité du risque plus élevé.**

##### 2.3.2.4.2. Caractéristiques de la mission et acceptabilité du risque

Outre l'aspect culturel de l'acceptabilité du risque, les caractéristiques de la mission peuvent également avoir favorisé une perception erronée du niveau de risque réel.

Le poser de précision dans des conditions aérologiques limites sur une piste connue n'a probablement pas été perçu comme une prise de risque excessive par les deux membres d'équipage. Si les tours de piste se font aux limites des normes d'emploi de l'aéronef, ils restent dans le domaine autorisé. L'équipage est habitué à la

réalisation de missions de haute technicité à risques. Ces deux pilotes se savent expérimentés et réalisent régulièrement ce type de mission en entraînement ou en opération.

L'évènement survient lors du deuxième vol de la journée pour le PCB et alors que l'équipage réalise son cinquième tour de piste sans incident ou évènement inattendu. Par ailleurs, il semble que ce type d'exercice doit être maîtrisé par tous les pilotes de Twin Otter de l'escadron même dans des conditions aérologiques limites, il est aussi perçu comme un prérequis à toute mission. Dès lors, l'imprécision du poser peut-être considérée comme un échec remettant en question les compétences opérationnelles de l'individu vis-à-vis du groupe.

**Les caractéristiques de la mission ont pu favoriser une perception erronée du risque de la situation ayant conduit à privilégier la performance attendue de l'exercice au détriment de la sécurité.**

#### 2.3.2.4.3. Expérience de l'équipage et acceptabilité du risque

Le pilote est le chef pilote de l'escadron depuis un an. Il a intégré l'escadron en 2019. Il est actuellement qualifié sur C160 et Twin Otter. Instructeur sur C160, il est qualifié commandant de bord sur Twin Otter et est actuellement en cours de qualification opérationnelle sur cet aéronef. Par ailleurs, il a une très grande expérience aéronautique avec plus de 6 000 heures de vol mais seulement une centaine sur Twin Otter.

Le commandant de bord cumule 11 ans d'expérience au sein de l'escadron, actuellement OUO-S sur C130H et ancien OUO-S sur Twin Otter. Il possède deux qualifications qu'il entretient, une sur C130H et une sur Twin Otter. Il est instructeur sur ces deux aéronefs. Comme le pilote, il a une très grande expérience aéronautique avec près de 8 000 heures de vol. Sur Twin Otter il totalise 700 heures de vol, ce qui fait de lui le pilote de l'escadron le plus expérimenté sur cet aéronef.

**L'équipage possède une solide expérience aéronautique. Le PCB est le pilote le plus expérimenté de l'escadron sur Twin Otter. Les caractéristiques de l'équipage ont probablement contribué à une sensation de maîtrise favorisant une acceptation importante du risque.**

#### 2.3.2.5. Reprise tardive des commandes par le pilote

Le PCB aux commandes lors de l'évènement est instructeur. Il est le pilote le plus expérimenté de l'escadron sur ce type d'appareil. Son expérience est reconnue par ses pairs. Le pilote en place gauche est en cours de qualification. Il possède sept fois moins d'heures de vol que le PCB sur ce type d'aéronef.

La forte différence d'expérience entre les deux membres d'équipage peut avoir conduit le pilote en place gauche à adopter une posture passive lors des tours de piste du PCB retardant sa reprise des commandes au moment où l'aéronef part en glissade.

**Le pilote en place gauche peut avoir adopté une posture passive face au PCB très expérimenté. Cette posture passive a probablement retardé sa reprise des commandes.**

#### 2.3.2.6. Action involontaire sur les freins

L'installation du kit IFG concerne également les modifications des freins. Les nouveaux freins ont une sensibilité accrue et sont plus efficaces que le système précédent. Sur l'ancienne version, les équipages devaient appuyer à plusieurs reprises sur les freins et avec une certaine intensité pour assurer leur efficacité. Avec ces nouveaux freins, l'enfoncement de la pédale de frein est plus facile et l'efficacité immédiate. Ainsi, alors qu'elle était auparavant transparente, une légère pression involontaire sur le frein peut maintenant devenir très efficace.

Compte tenu de sa taille et de la position des commandes, le PCB est dans l'obligation d'avancer au maximum son siège, pour avoir l'usage complet des palonniers jambes tendues. Les freins sont situés au-dessus des pédales des palonniers. Afin de ne pas freiner par erreur, les pilotes adoptent des stratégies par leur action sur les palonniers, comme celle de lever la pointe des pieds. Cette pratique représente une contrainte musculaire, habituellement gérée par le pilote.

En raison d'un vent fort de travers venant de la droite, le PCB doit rechercher le plein débattement du palonnier gauche. Il a alors la jambe gauche totalement tendue et à l'inverse la jambe droite totalement fléchie. Les conditions aérologiques obligent donc le PCB à adopter une posture musculairement contraignante. Les contraintes musculaires s'accumulant, le pilote a pu relâcher progressivement la position de ses pointes de pieds et involontairement appuyer sur les freins.

Cette action pourrait être l'explication des observations au niveau du bloc de frein de gauche.

**L'ergonomie des commandes et la modification de la sensibilité des freins a pu favoriser l'appui involontaire du PCB sur le frein.**

#### 2.3.2.7. Méconnaissance du phénomène de brouettage

Sur un avion de type tricycle, comme le Twin Otter, si une pression excessive est exercée sur le train avant pendant le décollage ou l'atterrissage l'avion devient alors aussi instable qu'une brouette roulant sur une seule roue, le contrôle directionnel est alors compromis.

Le phénomène de brouettage se produit généralement en conjuguant un centrage avant, un rebond et un vent traversier. Dans ces conditions, le risque de voir l'aéronef se soulever sur la roulette de nez, voire d'aller jusqu'au basculement vers l'avant est réel et s'est déjà produit sur des avions de type train tricycle comme le Twin Otter.

Le Twin Otter est déjà connu pour avoir un centrage plutôt vers l'avant. De plus, la non utilisation par l'équipage d'un lest à l'arrière de l'appareil lors du vol de l'après-midi, contrairement au vol du matin, a encore accentué le centrage avant et a très vraisemblablement favorisé le basculement sur la roulette de nez et le train principal gauche de l'aéronef après le rebond.

Les pilotes de l'escadron n'ont pas connaissance de ce phénomène de brouettage.

**La méconnaissance du phénomène de brouettage conduit à une sous-estimation du risque associé à un centrage très avant.**

#### 2.3.2.8. Transmission des savoirs

Dans cette unité, il existe une forte culture de la transmission orale de l'expérience au titre de la formation continue des équipages. Elle s'appuie sur la grande expérience aéronautique de ces derniers sur différents types d'aéronefs. Bien qu'il soit expérimenté et qu'il ait reçu les briefings d'information sur les conséquences du changement de configuration, l'équipage n'a pas anticipé les risques liés à ces modifications.

Dans cette unité concernée par l'évènement où le renouvellement des équipages est fréquent, l'expérience générale a cependant tendance à diminuer, par rajeunissement des personnels. Dès lors, la seule transmission orale des consignes apparaît insuffisante.

**La transmission des consignes à l'oral n'est pas suffisamment robuste pour répondre à toutes les exigences de la sécurité aéronautique. Il apparaît nécessaire de faire évoluer en volume et en forme la formation pour ces équipages.**

PAS DE TEXTE

### 3. CONCLUSION

L'évènement est un atterrissage non maîtrisé conduisant à une perte de contrôle de l'aéronef, aboutissant à une sortie de piste.

# ARC<sup>14</sup> # RE<sup>15</sup>

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

La mission est un entraînement en tours de piste classiques, afin de réaliser des posers de précision, dans des conditions aérologiques aux limites des normes d'emploi autorisées pour cet aéronef. Cet avion vient d'être récemment équipé d'une nouvelle configuration en roues demi-ballon (kit IFG), de plus grand diamètre que précédemment. Le PCB sort d'une période d'activité intense sans phase de repos adaptée. Il accepte de participer à deux vols sur le Twin Otter dans cette nouvelle configuration, qu'il connaît peu. Le second vol est préparé dans un temps contraint. L'équipage décide de ne pas effectuer de complément d'avitaillement en carburant entre les deux vols et de ne pas prendre de lest, contrairement au vol précédent. Le centrage avant de l'avion est encore accentué.

Quatre exercices sont réalisés sans rencontrer de difficulté particulière. Lors du cinquième poser, l'avion se présente en correction de dérive « nez au vent », position dite « crabée », à faible vitesse et en configuration pleins volets. L'expérience du pilote aux commandes est très importante sur Twin Otter. L'arrondi s'effectue selon un dosage inadapté conduisant à un toucher simultané de la roulette de nez et du train principal gauche. Immédiatement, cette situation génère un léger rebond, suivi d'une glissade. L'équipage tente en vain de contrôler la trajectoire. L'avion se retrouve en déséquilibre, avec une inclinaison à gauche et touche le sol avec l'extrémité de l'aile gauche. La sortie de piste par la droite ne peut être évitée.

L'équipage ramène toutefois l'avion au parking sans difficulté.

L'avion est endommagé et l'équipage est indemne.

#### 3.2. Causes de l'évènement

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

Le vent de travers à l'atterrissage est aux limites du domaine d'emploi de l'aéronef.

Le pilotage du Twin Otter, dans les conditions de vent de travers aux limites d'emploi, est délicat et nécessite précision et réactivité.

La planification contrainte des vols a conduit l'équipage à effectuer une préparation allégée de ce vol.

La récente modification de l'aéronef avec le kit roue demi-ballon n'a pas fait l'objet d'une prise en compte suffisamment consolidée pour une appropriation complète par les équipages.

En l'absence d'autorisation d'emploi formelle, les pilotes découvrent par eux-mêmes les particularités de cette nouvelle configuration.

Les équipages n'ont pas pris la mesure des nouveaux phénomènes apportés par le changement concernant le centrage, l'assiette de l'aéronef et l'efficacité accrue du système de freinage.

L'équipage, par un biais d'habitude, a conservé ses repères habituels et a agi sur les commandes en allant jusqu'au débattement maximal de celles-ci sans pouvoir contrer la dérive et la glissade qui s'est installée.

La répétitivité des exercices depuis le premier vol de la journée a pu conduire à une baisse d'attention du PCB favorisant la survenue d'une erreur de pilotage liée à des biais cognitifs d'habitude.

La méconnaissance du phénomène particulier du brouettage, connu de ce type d'aéronef a conduit à une sous-estimation du risque associé à un centrage très avant.

Les caractéristiques de la mission ont pu favoriser une perception erronée du risque.

L'expérience aéronautique importante de l'équipage a contribué à une sensation de maîtrise.

Une culture de la performance imprègne fortement les équipages de l'escadron. Cela génère un niveau d'acceptabilité du risque plus élevé.

L'hypovigilance du PCB est un facteur contributif de la survenue d'un biais d'habitude lors de cet évènement. Enfin, le pilote en place gauche a adopté une posture passive en raison de l'expérience du PCB, retardant la reprise des commandes.

<sup>14</sup> ARC : *abnormal runway contact* - contact anormal avec la piste. Référence : Aviation Occurrence Categories version de mai 2021 de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI).

<sup>15</sup> RE : *runway excursion* - sortie de piste.

PAS DE TEXTE

## 4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

#### 4.1.1. Autorisation d'emploi, modification du MANEX et formation des équipages.

L'évaluation opérationnelle de la nouvelle configuration de l'aéronef, avec le kit IFG, n'a pas été réalisée par le CEAM. Les équipages de l'escadron ne disposent pas de consignes d'exploitation validées par l'autorité d'emploi pour cette nouvelle configuration. En outre, la modification de configuration d'un aéronef doit être accompagnée d'une mise à jour immédiate du MANEX, en amont de l'appropriation, avec une vérification de la connaissance des équipages des nouvelles particularités. Enfin, selon le constructeur, il n'est pas nécessaire de procéder à une formation particulière et complémentaire des équipages suite à la modification de configuration de cet aéronef. Cependant, cette modification implique un comportement de l'avion différent. La transmission, principalement orale, n'a pas permis aux équipages de prendre pleinement conscience des conséquences induites par l'installation du kit IFG et le renouvellement accéléré des équipages au sein de certaines autorités d'emploi ne facilite pas la transmission des savoir-faire sans formation formalisée.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à toutes autorités d'emploi de vérifier que toute nouvelle configuration d'un aéronef fasse l'objet d'un processus d'autorisation d'emploi, de veiller à ce qu'elle soit intégrée dans le MANEX, et de mener une analyse de risque approfondie lorsque ce changement de configuration est notable concernant la nécessité d'établir un programme de formation adapté pour les équipages.**

**R1 – [A-2021-01-A] Destinataire : CEMAAE ; CEMMN ; CEMAT ; DGA ; DGGN ; DGSCGC ; DGDDI**

#### 4.1.2. Connaissance des phénomènes particuliers

Les différents phénomènes dangereux en matière de pilotage semblent insuffisamment connus. Ainsi, le phénomène de brouettage rencontré est assez classique, dans cette configuration d'atterrissage et dans les conditions de vent rencontrées lors de cet évènement.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de l'Air et de l'Espace de veiller à ce que le phénomène particulier de brouettage fasse l'objet d'une sensibilisation au profit des équipages opérant sur Twin Otter, en lien avec la spécificité des missions réalisées et compte-tenu du centrage avant lié à l'installation du kit IFG.**

**R2 – [A-2021-01-A] Destinataire : CEMAAE**

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

La trajectoire de l'aéronef a pu être reconstituée grâce aux données de l'enregistreur embarqué. Cependant la fréquence utilisée pour l'enregistrement des données étant trop faible, la reconstitution de la trajectoire et de l'attitude de l'avion pendant le déroulement de l'évènement a été difficile.

Or, un enregistreur de nouvelle génération est disponible et pourrait apporter une remontée d'informations plus importante en matière de données permettant d'améliorer l'analyse, le rejeu des trajectoires et des attitudes avion.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de l'Air et de l'Espace d'étudier et de favoriser, pour tous les Twin Otter, le remplacement des enregistreurs embarqués par de nouveaux enregistreurs de vol durcis suivant la norme ED-155 de l'organisation européenne pour l'équipement de l'aviation civile (EUROCAE).**

**R3 – [A-2021-01-A] Destinataire : CEMAAE**

PAS DE TEXTE