

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

## Rapport d'enquête de sécurité



A-2019-01-A

Date de l'évènement	9 janvier 2019
Lieu	Mignovillard (Jura)
Type d'appareil	Mirage 2000D
Organisme	Armée de l'air

## AVERTISSEMENT

### UTILISATION DU RAPPORT

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

	SIRPA Air	Page de garde
Figure 1	DIRCAM/BEA-É	9
Figure 2	Géoportail/BEA-É	10
Figures 3 à 5	Météo-France/BEA-É	13 et 14
Figure 6	RESEDA/BEA-É	16
Figures 7 à 11	SRGA/BEA-É	16 à 19
Figure 12	Géoportail/SRGA/BEA-É	20
Figure 13	ETD/BEA-É	23
Figure 14	Google Earth/BEA-É	25
Figure 15	BEA-É	26
Figures 16 et 17	DGA EP	28
Figure 18	BEA-É	29
Figures 19 à 23	Google Earth/BEA-É	30 à 32
Figure 24	Météo-France/Google Earth/BEA-É	33
Figures 25 à 27	Google Earth/BEA-É	35 et 36
Figure 28	Météo-France/Google Earth/BEA-É	37
Figures 29 et 30	BEA-É	44 et 45

## TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT	2
CRÉDITS	2
TABLE DES MATIÈRES	3
GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS	5
1. Renseignements de base	7
1.1. Déroulement du vol	7
1.2. Dommages corporels	10
1.3. Dommages à l'aéronef	11
1.4. Autres dommages	11
1.5. Renseignements sur l'équipage	11
1.6. Renseignements sur l'aéronef	12
1.7. Conditions météorologiques	13
1.8. Aide à la navigation	15
1.9. Télécommunications	15
1.10. Enregistreurs de bord	15
1.11. Constatations sur la zone d'impact et l'aéronef	17
1.12. Renseignements médicaux	20
1.13. Incendie	21
1.14. Questions relatives aux opérations de secours	21
1.15. Essais et recherches	22
1.16. Renseignements sur les organismes	22
1.17. Renseignements supplémentaires	23
2. Analyse	25
2.1. Expertises techniques	25
2.2. Analyse de la trajectoire	29
2.3. Recherche des causes de l'évènement	39
3. Conclusion	51
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement	51
3.2. Causes de l'évènement	51
4. Recommandations de sécurité	53
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement	53
4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement	54
ANNEXE ILLUSIONS PERCEPTIVES	56

## GLOSSAIRE

AIA	atelier industriel de l'aéronautique
AST	assaut en suivi de terrain
CCS	centre de coordination de sauvetage
CPIP	consignes permanentes d'instruction du personnel navigant
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
CFA	commandement des forces aériennes
CRFT	compte rendu de fait technique
DRH-AA	direction des ressources humaines de l'armée de l'air
EAC	école de l'aviation de chasse
EC	escadron de chasse
EIUOT	escadron d'instruction et d'utilisation opérationnelle et technique
ESTA	escadron de soutien technique aéronautique
ETD	escadron de transformation Mirage 2000D
ISG	indicateur sphérique gyroscopique
IMC	<i>instrument meteorological conditions</i> - conditions météorologiques de vol aux instruments
NOSA	navigateur officier systèmes d'armes
OPEX	opération extérieure
PA	pilote automatique
PLA	point de largage de l'armement
PCO	pilote de combat opérationnel
PGS	plein gaz sec
REAC	répertoire d'emploi de l'aviation de chasse
RTBA	réseau très basse altitude
SAR	<i>search and rescue</i> - recherche et sauvetage
SATER	sauvetage aéroterrestre
SCALP	système de croisière conventionnel autonome à longue portée
SCN	sous-chef navigateur
SDT	suivi de terrain
TBA	très basse altitude
UTC	<i>universal time coordinated</i> - temps coordonné universel
VMC	<i>visual meteorological conditions</i> - conditions météorologiques de vol à vue
VTB	visualisation tête basse
VTH	visualisation tête haute
3° EC	troisième escadre de chasse

## SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 9 janvier 2019 à 10h30

Lieu de l'évènement : Mignovillard (Jura)

Organisme : armée de l'air

Commandement organique : commandement des forces aériennes (CFA)

Unité : escadron de chasse (EC) 001.03 « Navarre »

Aéronef : Mirage 2000D n° 667

Nature du vol : mission d'entraînement à l'assaut en suivi de terrain (AST) dans le réseau très basse altitude (RTBA)<sup>1</sup>

Nombre de personnes à bord : 2

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

Le mercredi 9 janvier 2019, le Mirage 2000D n° 667 de l'EC 001.03 « Navarre » réalise une mission d'AST en conditions de vol aux instruments et en zone réservée. L'équipage est composé d'un pilote et d'un navigateur officier systèmes d'armes (NOSA).

Après 10 minutes de vol en mode de suivi de terrain (SDT)<sup>2</sup> dans le RTBA, l'équipage doit réaliser une simulation de passe de tir SCALP<sup>3</sup>. Les contacts radar et radio sont perdus alors que l'aéronef survole la forêt de Mignovillard en virage par la droite. Des débris de l'aéronef sont retrouvés en fin de journée à 2 kilomètres au sud-est de cette commune. L'équipage est décédé.

### 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 expert technique (BEA-É) ;
- un officier pilote ayant une expertise sur Mirage 2000D ;
- un officier mécanicien ayant une expertise sur Mirage 2000D ;
- un sous-officier ayant une expertise sur l'armement du Mirage 2000D ;
- un médecin breveté supérieur de médecine aéronautique ;
- un expert parachutiste de la direction générale de l'armement - Essais en vol (DGA EV) ;
- un enquêteur de première information (EPI).

---

<sup>1</sup> Le RTBA est un ensemble de couloirs aériens réglementés, interdits de pénétration aux autres usagers et reliés entre eux pour assurer l'entraînement des aéronefs de combat au vol très basse altitude et aux instruments. Les planchers de certaines portions sont abaissés au sol. Le contournement est obligatoire pour les autres usagers pendant l'activation.

<sup>2</sup> SDT : le suivi de terrain permet de réaliser une pénétration en territoire hostile, en volant à très basse altitude, à haute vitesse et en suivant une trajectoire proche du relief survolé.

<sup>3</sup> Le système de croisière conventionnel autonome à longue portée est un missile de croisière développé en 1994 puis fabriqué par MBDA.

### **Autres experts consultés**

- direction générale de l'armement - Essais propulseurs (DGA EP) ;
- direction générale de l'armement - Techniques aéronautiques (DGA TA) ;
- direction générale de l'armement - Essais en vol (DGA EV) ;
- atelier industriel de l'aéronautique (AIA) de Bordeaux ;
- escadron d'instruction et d'utilisation opérationnelle et technique (EIUOT) 67.430 ;
- institut de recherche biomédicale des armées (IRBA) ;
- Dassault Aviation ;
- Météo-France.

## 1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

### 1.1. Déroulement du vol

#### 1.1.1. Mission

Type de vol : circulation aérienne militaire tactique (CAM T)

Type de mission : mission d'entraînement à l'assaut en SDT dans le RTBA

Dernier point de départ : base aérienne 133 de Nancy-Ochey

Heure de départ : 10h08

Point d'atterrissage prévu : base aérienne 116 de Luxeuil Saint-Sauveur

#### 1.1.2. Déroulement

##### 1.1.2.1. Contexte du vol

L'équipage du Mirage 2000D accidenté est composé d'un pilote qui est qualifié pilote de combat opérationnel (PCO) et d'un NOSA qui est qualifié sous-chef navigateur (SCN).

Tous deux reviennent de congés de fin d'année le lundi 7 janvier 2019. En octobre et novembre 2018, le pilote a participé à une opération extérieure (OPEX) à N'Djamena au Tchad peu de temps après l'obtention de sa qualification de PCO. En décembre 2018, il a réalisé un convoyage d'une dizaine d'heures de vol d'un Mirage 2000D vers N'Djamena. Pour sa part, le NOSA a enchaîné deux OPEX l'une à la suite de l'autre. Il a donc passé 4 mois à N'Djamena, d'août à novembre 2018. À l'issue, il a pris des congés. Durant ces OPEX, le pilote et le navigateur ont principalement réalisé des missions en haute altitude. Ils ont eu toutefois l'occasion de faire quelques missions de maintien en conditions opérationnelles (MCO), notamment d'AST, mais sans avoir volé en métropole depuis plusieurs mois.

Les qualifications de l'équipage sont pleinement adaptées à ces deux missions d'entraînement. Cependant, un programme dit « de reprise » leur est assigné par leur commandant d'escadrille à leur retour de congés. Le lundi, ils réalisent ensemble une séance au simulateur consacrée aux pannes nécessitant des réactions d'urgence et à la mécanisation des procédures de SDT.

Le mardi, le pilote doit effectuer une mission de combat aérien mais l'avion de son leader est indisponible. Il effectue en remplacement une mission de voltige et des approches finales aux instruments. Le navigateur doit également voler mais il demande de ne pas réaliser le vol pour participer à une rencontre avec des cadres de la direction des ressources humaines de l'armée de l'air (DRH-AA) présents sur la base aérienne. Le mercredi, ils sont planifiés sur deux missions.

La première mission est un entraînement à l'AST dans le RTBA, dénommé AST 4. Elle est réalisée en avion isolé. Deux simulations de passe de tir SCALP sont prévues. À l'issue, ils doivent atterrir à Orange pour une remise en œuvre de l'avion par l'équipage et une pause déjeuner. L'après-midi, ils doivent réaliser une seconde mission qui consiste en un vol d'assaut à vue en patrouille légère (deux avions) avec un autre appareil. Ce dernier aura effectué le matin la même mission qu'eux, en les précédant de 5 minutes sur l'itinéraire emprunté et en atterrissant également à Orange. À l'issue de cette seconde mission, les deux appareils doivent se poser à Nancy.

L'indicatif de l'équipage de l'avion accidenté est Coca 27 ; celui de l'équipage de l'autre avion est Coca 26.

### 1.1.2.2. Préparation du vol

Les préparations des missions du mercredi ont lieu la veille des vols. À 15 heures, les deux équipages se réunissent sous la supervision du pilote de Coca 26, qui est qualifié chef de patrouille (CP). Ensuite, les deux NOSA ainsi que le pilote de Coca 27 préparent la mission du matin, sous la supervision du NOSA de Coca 27. Le pilote de Coca 26 prépare de son côté la mission de l'après-midi, qui doit être briefée pendant l'escale à Orange.

Toutefois, les prévisions de vent sur Orange n'étant pas favorables, une modification de la mission est étudiée, en accord avec le commandant d'escadrille. Cette modification prévoit de raccourcir le vol par une sortie du RTBA en région Centre, sous contrôle de l'approche d'Avord, et d'effectuer un transit retour vers Luxeuil. La préparation des missions est finalisée vers 17h15. Le commandant d'escadrille rédige l'ordre de vol nominal le soir, avant de quitter l'escadron tandis que le NOSA de Coca 27 se rend à son rendez-vous avec la DRH-AA.

Le matin du vol, les deux équipages se retrouvent à 8 heures pour actualiser les éléments. Les vols étant programmés au premier tour, les deux équipages ne pouvaient pas assister au briefing météorologique quotidien. Ils récupèrent donc les informations météorologiques sur le réseau intranet. Ils contactent également le service météorologique de la base pour connaître les conditions sur tout le trajet prévu. Les prévisions de vent défavorables étant confirmées à Orange, la mission est modifiée comme étudiée la veille. Le commandant d'escadrille réécrit alors l'ordre de vol adapté à la nouvelle mission. Il autorise le vol à une hauteur de 300 pieds<sup>4</sup> sol et l'emploi de tous les modes de SDT.

Cette première mission étant réalisée en avion isolé, chaque équipage la briefe alors de son côté vers 8h50, pendant une demi-heure. Puis ils rejoignent simultanément leur avion.

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

Coca 26 décolle de Nancy-Ochey à 10h01 ; Coca 27 à 10h08. Ils débutent leur vol de Nancy vers Luxeuil par un transit d'environ 5 minutes à une altitude de 5 000 pieds pour Coca 26 et 6 000 pieds pour Coca 27. Ils sont alors successivement sous contrôle radar des approches de ces deux terrains et évoluent entre deux couches nuageuses.

À l'issue de ce transit, ils descendent en très basse altitude (TBA) en traversant une couche nuageuse. Ils intègrent le RTBA à 10h15 pour Coca 26 et 10h20 pour Coca 27 et débutent le vol en SDT, tout en maintenant cet espacement de 5 minutes. Ils évoluent alors dans un espace aérien non contrôlé mais interdit de pénétration aux autres usagers, et assurent leur navigation de façon autonome.

Pendant le vol dans le premier tronçon du RTBA, ils évoluent à une hauteur<sup>5</sup> minimale de 300 pieds, essentiellement sous la couche nuageuse et en vue du sol. Au bout d'environ 4 minutes, ils doivent remonter au-dessus de 800 pieds sol car le plancher du RTBA est rehaussé à partir de cet endroit.

Au début du deuxième tronçon, ils redescendent à une hauteur minimale de 300 pieds car le plancher du RTBA est à nouveau abaissé au niveau du sol. Néanmoins, quelques instants plus tard et suite à une erreur de manipulation qu'il décèle, le pilote de Coca 26 décide de sélectionner un mode de SDT correspondant à une hauteur de 800 pieds.

À la fin du deuxième tronçon de vol dans le RTBA, vers 10h24, Coca 26 réalise sa première simulation de passe de tir SCALP. À ce moment, il vole dans les nuages. Coca 27, qui évolue 5 minutes derrière et plus bas, suit le même itinéraire et prépare sa simulation de passe de tir.

---

<sup>4</sup> Un pied vaut 30,46 cm.

<sup>5</sup> Hauteur : distance verticale entre un aéronef et la surface qu'il survole.

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

Sur le tronçon pendant lequel la première simulation de passe de tir SCALP est prévue, Coca 27 est détecté par les radars en évolution à une altitude comprise entre 3 300 et 3 400 pieds, ce qui correspond à une hauteur de 300 pieds environ.

Peu de temps avant le point où est prévue cette simulation de passe de tir, aux alentours du village de Frasne, deux témoins voient brièvement passer l'avion en très basse altitude pendant quelques secondes avant que celui-ci ne pénètre à nouveau dans les nuages. Ils ne distinguent ni feu ni fumée sur l'appareil.

Au point prévu pour la simulation de passe de tir, le Mirage 2000D engage un virage à droite, détecté par les radars. Il percute le sol dans la forêt de Mignovillard, à 2 kilomètres au sud-est du village. Au moment de l'accident, deux témoins situés légèrement au nord du point d'impact voient une boule de feu.

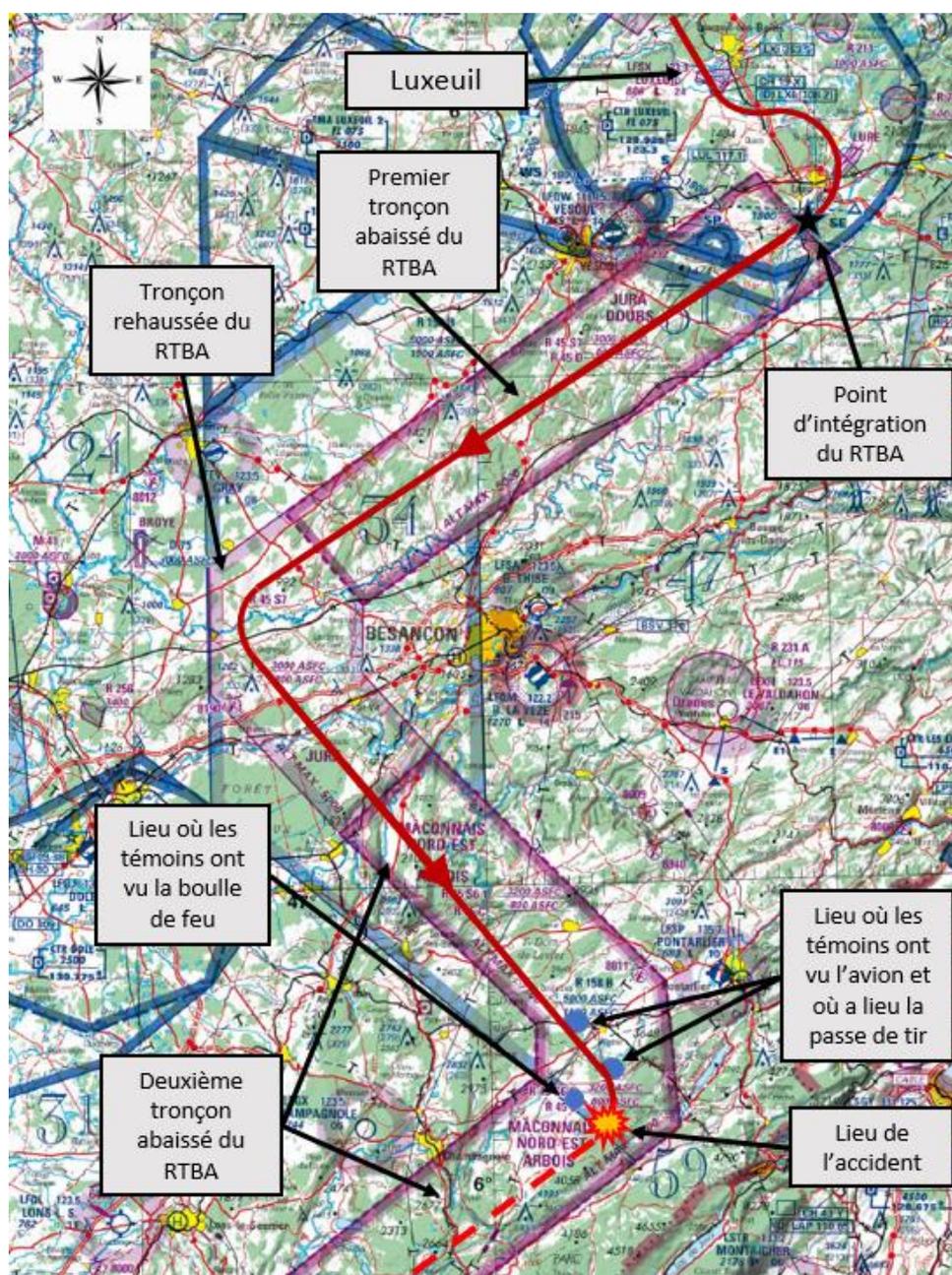


Figure 1 : trajectoire de Coca 27 à partir de son intégration dans le RTBA

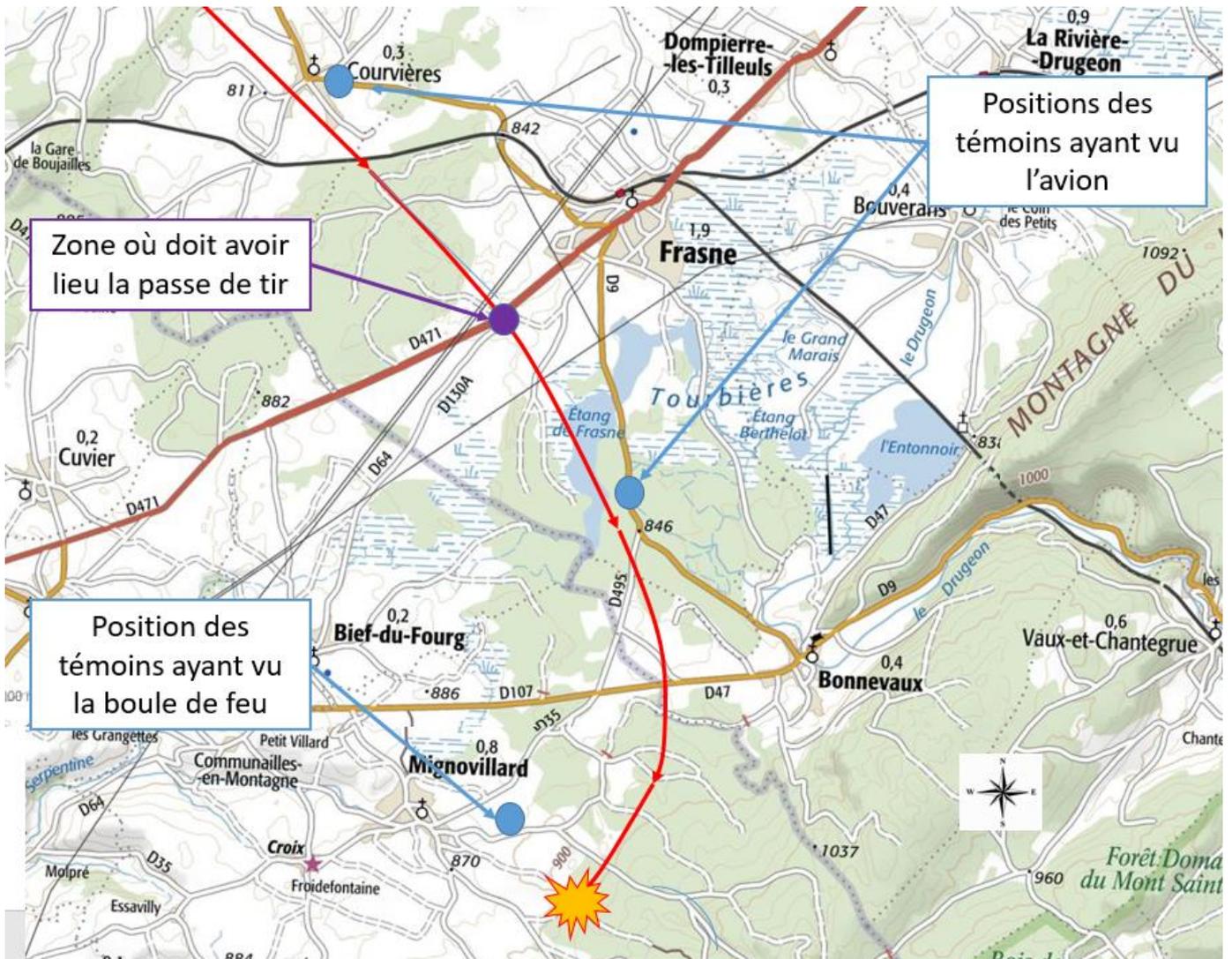


Figure 2 : positions des témoins

### 1.1.3. Localisation

- Lieu :

- pays : France
- département : Jura
- commune : Mignovillard
- coordonnées géographiques : N046°46'54"/E006°09'15"
- altitude topographique du point d'impact : 882 mètres soit 2 895 ft<sup>6</sup>

- Moment : jour

### 1.2. Dommages corporels

Le pilote et le navigateur sont décédés.

<sup>6</sup> ft : feet - pied (1 ft = 9,81 m/s<sup>2</sup>).

### 1.3. Dommages à l'aéronef

L'aéronef est détruit.

### 1.4. Autres dommages

Le carburant de l'aéronef (environ 4,7 t restantes au moment du crash) a pollué la zone d'impact. De plus, des arbres ont été coupés ou arrachés tandis que d'autres ont été brûlés sur une face.

### 1.5. Renseignements sur l'équipage

#### 1.5.1. Commandant de bord, NOSA

- Âge : 29 ans
- Unité d'affectation : EC 001.03 « Navarre »
- Formation :
  - qualification : SCN depuis le 1<sup>er</sup> avril 2018
  - école de spécialisation : école de l'aviation de chasse (EAC) de Tours
- Heures de vol comme NOSA :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont M 2000D	sur tout type	dont M 2000D	sur tout type	dont M 2000D
Total (h)	1 267	1 014	139	139	0	0
Dont AST	42	42	8	8	0	0

- Date du précédent vol sur Mirage 2000D : de jour le 23 novembre 2018 en OPEX

#### 1.5.2. Pilote

- Âge : 30 ans
- Unité d'affectation : EC 001.03 « Navarre »
- Formation :
  - qualification : PCO depuis le 7 septembre 2018
  - école de spécialisation : EAC de Tours
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont M 2000D	sur tout type	dont M 2000D	sur tout type	dont M 2000D
Total (h)	807	328	122	122	12	12
Dont AST	22	22	2	2	0	0

- Date du précédent vol sur Mirage 2000D : de jour le 8 janvier 2019
- Date du dernier contrôle en vol (annuel) sans visibilité (dit « vol VSV ») : 17 septembre 2018

## 1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de l'air
- Commandement d'appartenance : CFA
- Aérodrome de stationnement : base aérienne 133 de Nancy-Ochey
- Unité d'affectation : escadron de soutien technique aéronautique (ESTA) 15.003 « Malzéville »
- Type d'aéronef : Mirage 2000D
- Configuration : 2 réservoirs pendulaires de 2 000 litres chacun

	Type-série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis
Cellule	Mirage 2000D	667	4 411	36 heures depuis la dernière GV <sup>7</sup>
Moteur	M53-P2	60455	3 794	75 heures depuis le dernier dépannage

### 1.6.1. Maintenance

L'examen de la documentation technique témoigne d'un entretien conforme au plan de maintenance approuvé.

La veille de l'accident, le SDT a été testé en vol conformément aux directives de l'autorité technique (DGA<sup>8</sup>).

En effet, suite à un dysfonctionnement du SDT d'un Mirage 2000N en mai 2012 alors qu'aucune panne n'avait été déclarée, l'industriel a imposé de réaliser un test en vol du SDT tous les 3 mois sur la flotte Mirage 2000N et 2000D<sup>9</sup>. Le test réalisé le 8 janvier 2019 sur le Mirage 2000D n° 667 indique un fonctionnement nominal.

D'autre part, au cours de plusieurs vols non consécutifs entre le 29 mai et le 5 septembre 2018, les équipages ont constaté l'apparition d'une panne sur le circuit de tir normal des armements air-sol. Les dépannages effectués à l'issue de chaque vol n'ont pas permis de trouver la cause du fait technique. Après échanges standards de plusieurs éléments, l'ESTA a édité un compte rendu de fait technique (CRFT)<sup>10</sup> qui demandait aux équipages de réaliser au moins 6 vols avec passe de tir avant de considérer la panne comme résorbée. Durant ces vols, la panne est réapparue. L'ESTA était en cours de rédaction d'un nouveau CRFT au moment de l'évènement.

### 1.6.2. Performances

Compte tenu de la masse et des conditions de température et d'altitude de vol, l'appareil avait des performances compatibles avec la réalisation du vol.

---

<sup>7</sup> GV : grande visite.

<sup>8</sup> Acte technique n° 0504-14/DT/ASA/AAC valant consigne de navigabilité du 6 mai 2014.

<sup>9</sup> Service Bulletin n° 925250A - URL EAV-SB01 RADAR ANTILOPE préparé par THALES SYSTÈMES AÉROPORTÉS.

<sup>10</sup> CRFT gravité 3Q NR Mirage 2000/ESTA15.003/18/217/D667 panne récurrente sur conduite de tir du 10 octobre 2018.

### 1.6.3. Masse et centrage

Masse au décollage calculée : 14,850 t

Masse estimée au moment de l'évènement : 13 tonnes

Masse maximale au décollage : 16 tonnes

Le centrage est dans les limites autorisées

### 1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F-34
- Quantité de carburant au décollage : 6,230 t
- Quantité de carburant estimée au moment de l'évènement : 4,7 t

## 1.7. Conditions météorologiques

### 1.7.1. Prévisions

#### 1.7.1.1. TEMSI

La carte du temps significatif (TEMSI) en basse altitude éditée par Météo-France et valide le 9 janvier 2019 à 9h00 UTC (10h00 locales) indiquait dans la région de l'accident :

- une visibilité réduite, localement nulle en montagne ;
- des risques d'averses de pluie, localement de chutes de neige en montagne ;
- une température au sol de 0° C.

De plus, les prévisions dans la zone de l'accident indiquaient un vent faible en basse altitude, entre 5 et 10 kts du secteur nord-nord-ouest.

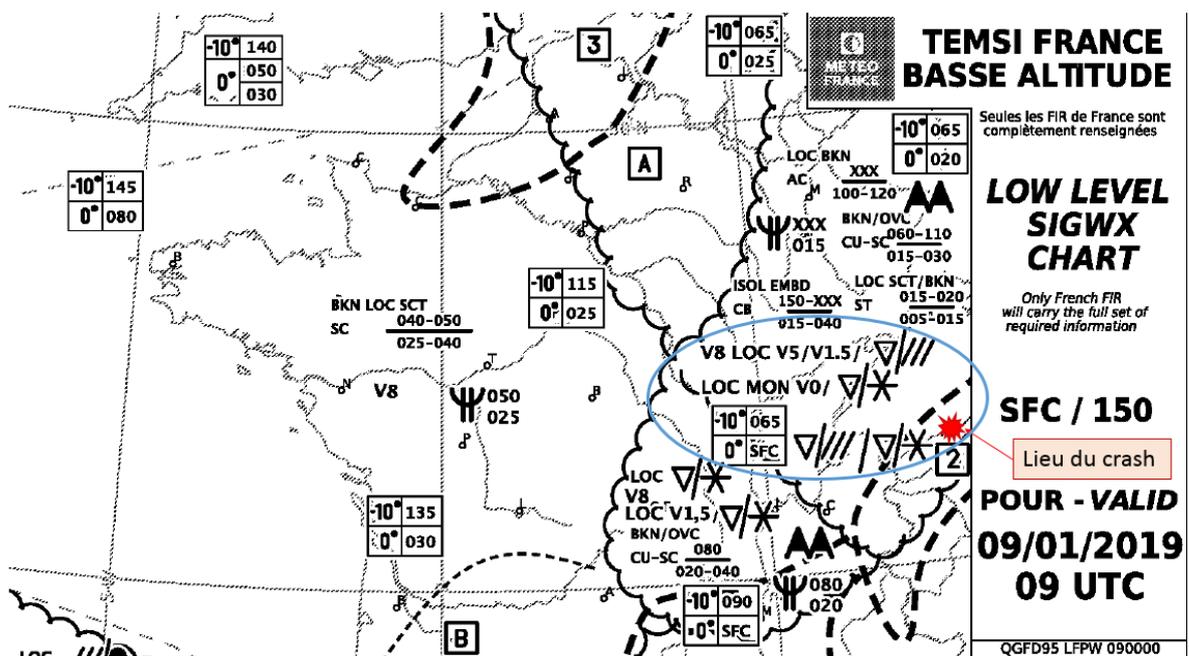


Figure 3 : extrait de la carte TEMSI France basse altitude

### 1.7.1.2. Coupe d'humidité

Météo-France a fourni des coupes d'humidité AROME sur le trajet Lure-Besançon-Pontarlier-Mouthe, trajet proche de celui suivi par Coca 27. Celles-ci présentent en coupe verticale sur le trajet demandé les prévisions d'humidité en pourcentage. L'altitude-pression en hPa est donnée en ordonnées.

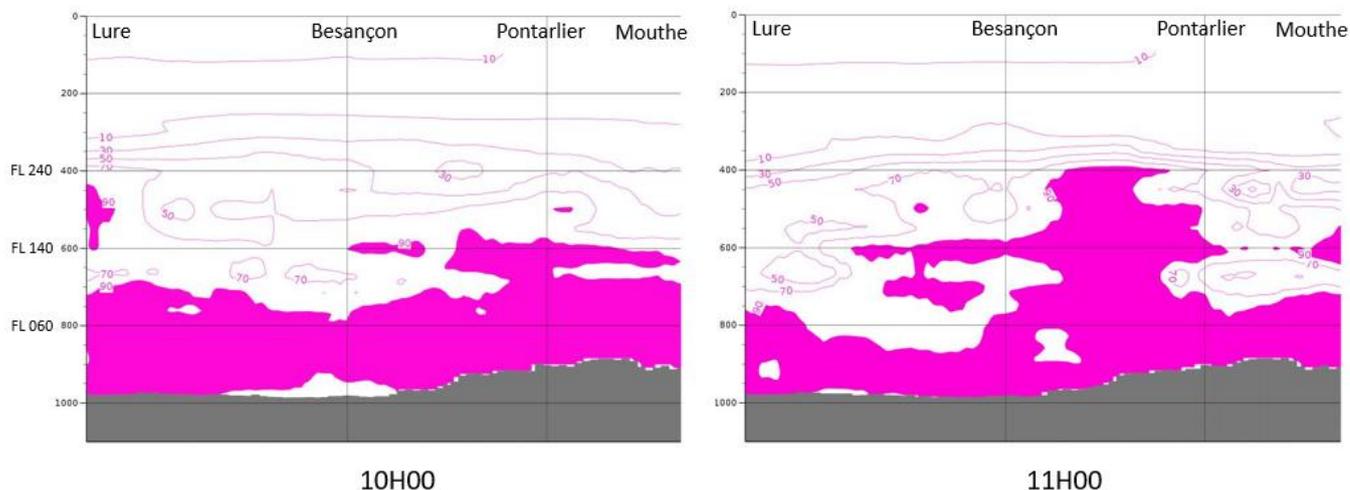


Figure 4 : coupe d'humidité AROME

L'étude des coupes d'humidité sur ce trajet à 10h et 11h montre que la couche nuageuse était épaisse dans la région traversée par Coca 27. La zone violette correspond à une tranche d'humidité supérieure à 90%. Les nuages se situent majoritairement dans cette tranche, au-delà de 95% d'humidité.

Il n'est pas possible de connaître précisément la hauteur entre le sol et la base des nuages.

### 1.7.2. Observations

La carte des radars météorologiques de 10h30 montre la présence de précipitations dans la zone de l'accident.

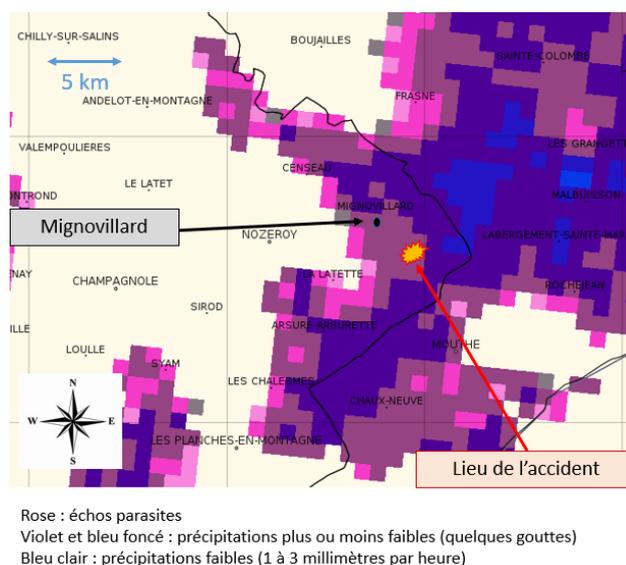


Figure 5 : carte des précipitations à 10h30

Les précipitations sont faibles ; quelques gouttes sont observées sur le lieu exact de l'accident. Les différents témoignages recueillis ne permettent pas de confirmer s'il y avait des chutes de neige au moment précis de l'accident. Toutefois, les témoins qui ont vu l'avion vers Frasne indiquent qu'il ne neigeait pas à cet endroit et que le plafond était bas.

Deux autres témoins ont vu une boule de feu au moment de l'accident. La base des nuages ne rejoignait donc pas le sol à cet endroit.

### 1.8. Aide à la navigation

Le Mirage 2000D est équipé d'un GPS, de deux centrales à inertie, d'une visualisation tête haute (VTH) et de 2 visualisations tête basse (VTB). Le GPS et les deux centrales à inertie ont été retrouvés.

### 1.9. Télécommunications

Au moment du crash, Coca 26 et 27 sont dans un espace aérien non contrôlé. Ils ne sont donc pas en contact radio avec un organisme de contrôle aérien. Néanmoins, ils émettent régulièrement des messages de position sur une fréquence UHF<sup>11</sup> d'auto-information<sup>12</sup>.

Le dernier message de Coca 27, reçu et enregistré par Coca 26 quelques minutes avant l'accident, vers 10h25, est : « *Coca 27, Mirage 2000D, west Besançon, heading 130 inbound Pontarlier, low level network*<sup>13</sup>. ».

Ce message est conforme et n'appelle aucune remarque.

### 1.10. Enregistreurs de bord

Plusieurs éléments susceptibles de contenir des informations enregistrées des paramètres de vol sont présents dans le Mirage 2000D.

#### 1.10.1. ESPAR<sup>14</sup>

Le Mirage 2000D est équipé d'un système d'enregistrement de données d'accident ESPAR. Il a été très fortement endommagé au moment de l'impact. Plusieurs pièces ont été retrouvées, éparpillées sur le site :

- le boîtier de protection statique externe ;
- le boîtier de protection statique interne, extrait du boîtier externe ;
- la carte électronique, extraite du boîtier interne ;
- les deux puces électroniques (2 capots et 2 fonds séparés), normalement soudées sur la carte mais détachées ;
- 2 modules de mémoires sur les 16 (8 par puce) que contenaient les deux puces.

---

<sup>11</sup> UHF : *ultra high frequency* - très haute fréquence.

<sup>12</sup> Cette fréquence est utilisée par les équipages des aéronefs militaires pour signaler leur type d'appareil, leur position, leur altitude et leur sens de vol à intervalles réguliers afin d'assurer l'anti-abordage avec les autres usagers militaires.

<sup>13</sup> « Coca 27, Mirage 2000D, ouest Besançon, cap 130 vers Pontarlier, réseau basse altitude ».

<sup>14</sup> ESPAR : enregistrement statique de paramètres.

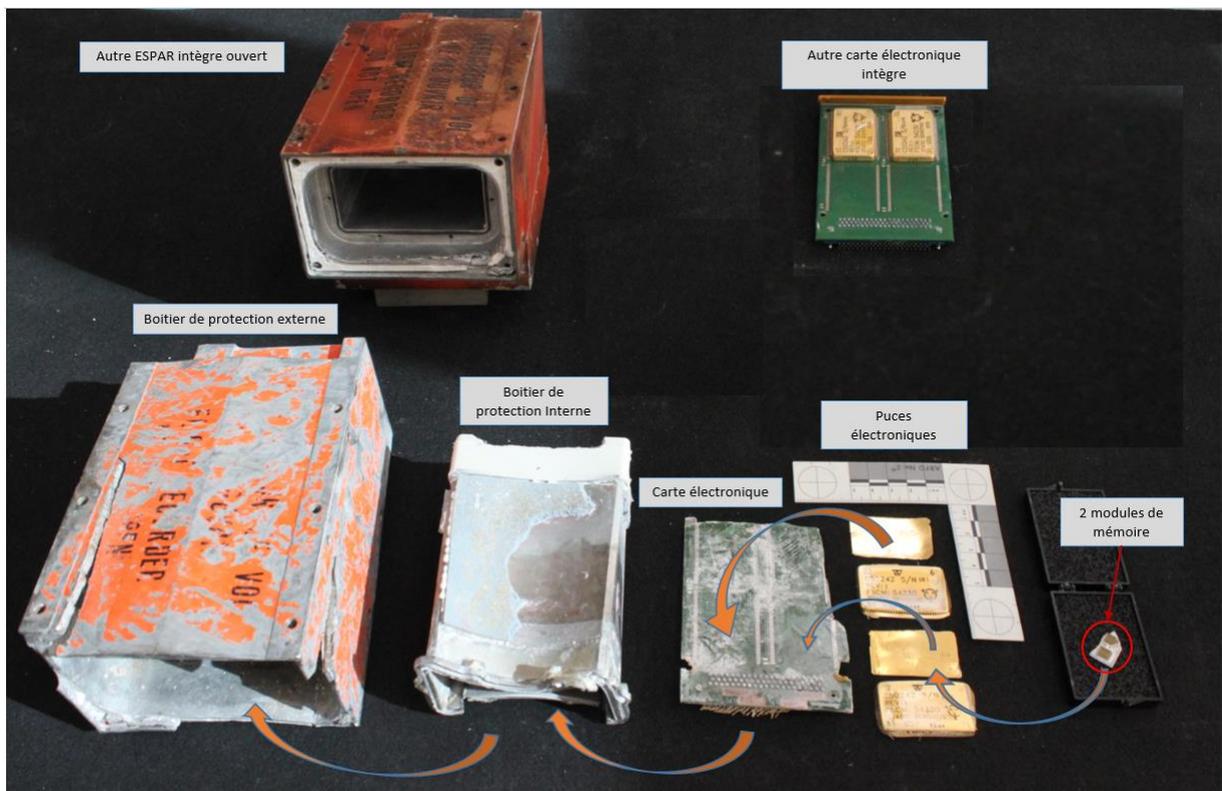


Figure 6 : pièces retrouvées de l'ESPAR et comparaison avec un ESPAR intègre

### 1.10.2. Calculateur moteur

Le calculateur du moteur M53 dispose d'une mémoire statique enregistrant la dernière panne moteur constatée. La coque du calculateur a été retrouvée mais la majeure partie des cartes électroniques est manquante. La carte du calculateur contenant la mémoire flash n'a pas été retrouvée.



Figure 7 : calculateur moteur

### 1.10.3. Cassette magnétique Hi8

La VTH du pilote ainsi que les conversations et signaux sonores sont enregistrés sur une cassette magnétique au format Hi8 au travers d'un magnétoscope. Cette cassette n'a pas été retrouvée.

### 1.10.4. GPS

Le GPS a été retrouvé. Il contient une mémoire flash enregistrant la dernière position reçue. Elle doit être alimentée en permanence pour conserver l'information enregistrée. L'expertise a déterminé qu'après l'accident, il n'y avait plus d'alimentation électrique dans le boîtier GPS. La mémoire flash a donc perdu son alimentation suite au crash et n'a pas pu conserver les données enregistrées.

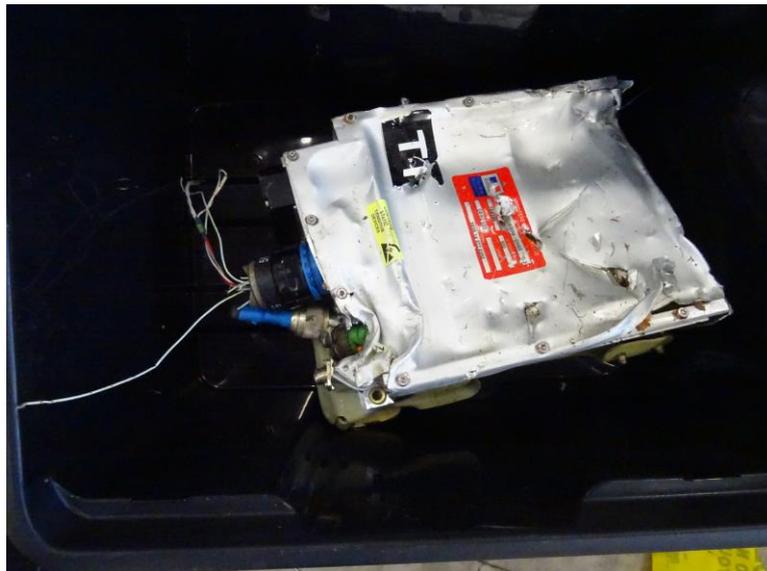


Figure 8 : GPS

## 1.11. Constatations sur la zone d'impact et l'aéronef

### 1.11.1. Examen de la zone d'impact

Le Mirage 2000D a heurté le sol dans une zone forestière composée de sapins. Le terrain est en légère pente. Le sol était enneigé au moment de l'accident. Peu de temps après, les chutes de neige ont repris, compliquant les constatations sur le site.

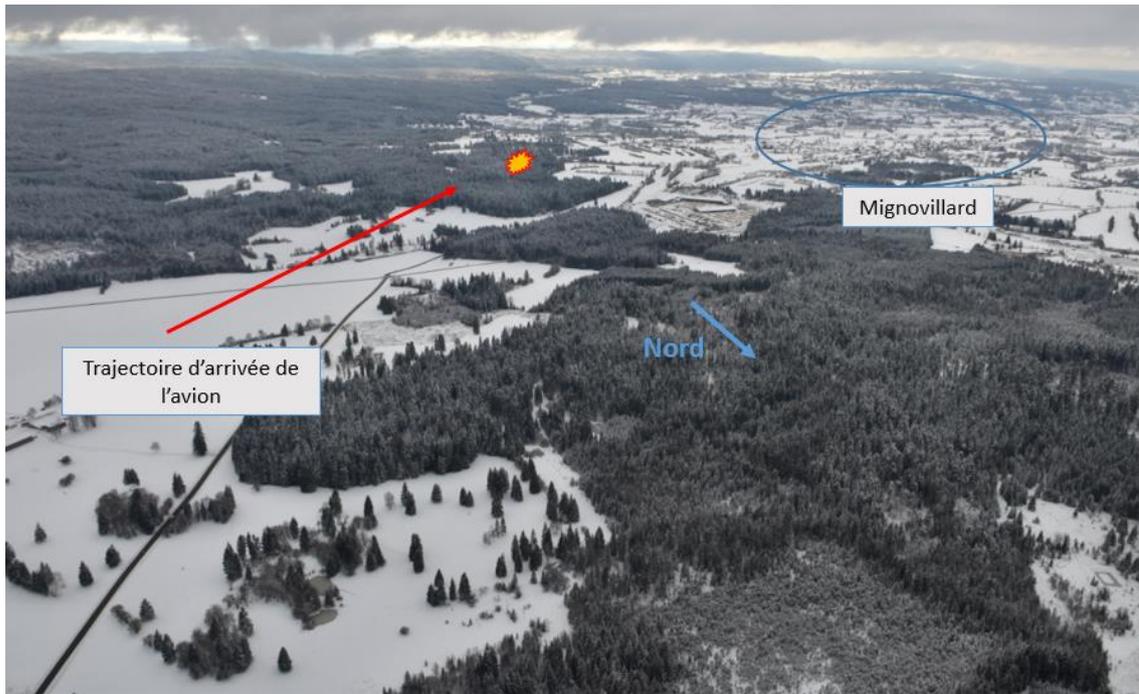


Figure 9 : vue générale de la zone de l'accident

Sur la zone de l'accident, un cratère peu profond est retrouvé au point d'impact ainsi que des arbres coupés net.



Figure 10 : vue de la zone d'impact



Figure 11 : arbres coupés net dans l'axe d'arrivée

#### 1.11.2. Examen de l'épave

L'aéronef est dispersé au sol. Les débris sont éparpillés dans la forêt et dans des champs, dans une zone d'un kilomètre de long sur 300 mètres de large. Un parachute, celui du pilote, retrouvé accroché dans un arbre, a permis de localiser le site de l'accident. Les éléments de l'ESPAR ont été retrouvés proches du point d'impact.

Du fait des chutes de neige peu de temps après l'évènement, une partie des pièces n'a pu être ramassée qu'après la fonte des neiges 3 mois plus tard.

La taille des débris ainsi que l'étendue de la zone de dispersion témoignent d'un impact à très haute énergie.

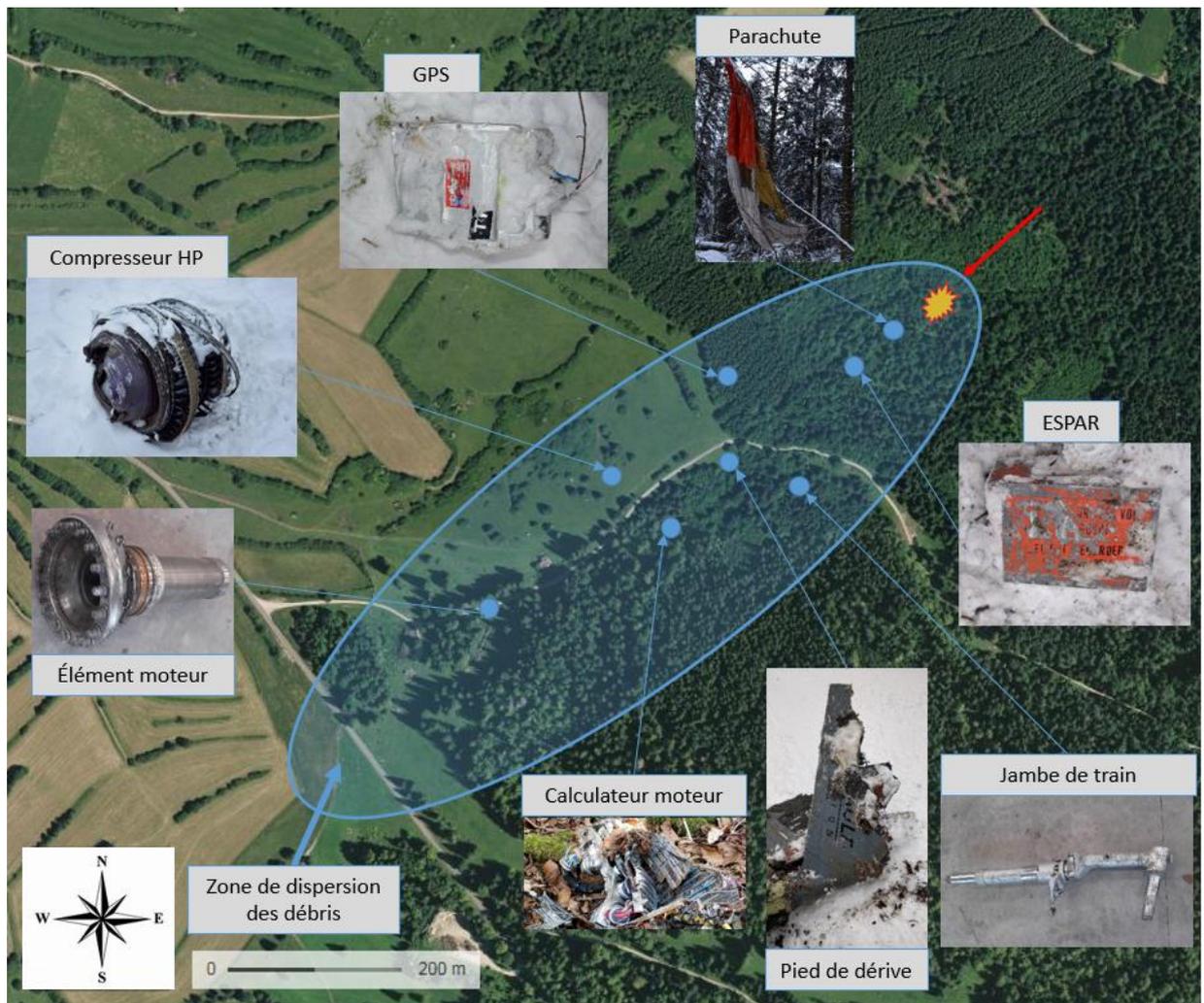


Figure 12 : dispersion des débris

## 1.12. Renseignements médicaux

### 1.12.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical :
  - type : visite révisionnelle au centre principal d'expertise médicale du personnel navigant (CPEMPN)<sup>15</sup> du 7 décembre 2018
  - résultat : apte NOSA de combat jusqu'au 31 décembre 2019
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : mortelles

<sup>15</sup> 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.

### 1.12.2. Pilote

- Dernier examen médical :
  - type : visite révisonnaire au CPEMPN du 11 septembre 2018
  - résultat : apte pilote de chasse jusqu'au 30 septembre 2019
- Examens biologiques : effectués
- Blessures : mortelles

### 1.13. Incendie

Sur le lieu du point d'impact, certains arbres sont brûlés du côté de l'axe d'arrivée du Mirage 2000D. De plus, des témoins ont vu une boule de feu s'élever dans le ciel. Néanmoins, la majeure partie des débris est retrouvée non brûlée.

### 1.14. Questions relatives aux opérations de secours

#### 1.14.1. Déclenchement de l'alerte

L'alerte est déclenchée à 10h59 par le chef contrôleur du centre de détection et de contrôle (CDC) 05.942 de Lyon-Mont Verdun. Il contacte pour cela le centre de coordination de sauvetage (CCS)<sup>16</sup> de Lyon afin de lui notifier la perte de contact avec Coca 27.

La phase d'urgence INCERFA<sup>17</sup> est déclenchée à 11h07.

Après confirmation par l'approche d'Avord que Coca 27 n'a pas fait l'objet d'une prise en compte radar pour un retour vers Luxeuil, l'ARCC déclenche une opération de *search and rescue* (SAR) à 11h26, en accord avec la haute autorité de défense aérienne (HADA). La phase d'urgence DETRESFA<sup>18</sup> est déclenchée à 11h50.

En parallèle et suite à l'exploitation des restitutions radar, le CCS contacte les préfectures du Jura et du Doubs à 12h39 pour demander une opération de sauvetage aéroterrestre (SATER) dans les deux départements.

#### 1.14.2. Organisation des secours

L'opération SAR dure 48 heures, jusqu'au 11 janvier au matin. Les recherches aériennes et terrestres sont toutefois suspendues le soir du 1<sup>er</sup> jour en raison de la tombée de la nuit et des mauvaises conditions météorologiques.

Le CCS mobilise 7 hélicoptères qui se relaient sur site. Le premier aéronef arrive le 1<sup>er</sup> jour à 12h20.

---

<sup>16</sup> Le CCS (en anglais ARCC pour *aeronautical rescue coordination center*) est basé à Lyon-Mont Verdun et est chargé d'assurer la coordination des moyens aériens de recherche et de sauvetage.

<sup>17</sup> La phase d'urgence INCERFA correspond à une situation où il y a lieu de douter de la sécurité d'un aéronef et des personnes à bord.

<sup>18</sup> La phase d'urgence DETRESFA correspond à une situation où il y a tout lieu de penser qu'un aéronef est menacé d'un danger grave et imminent et a besoin d'un secours immédiat.

Les préfetures du Jura et du Doubs mobilisent de nombreux services de l'État, dont la gendarmerie départementale, des unités de gendarmerie mobiles ainsi que les deux services départementaux d'incendie et de secours (SDIS). Des associations sont également mobilisées. Un poste de commandement opérationnel (PCO), en charge de conduire les recherches terrestres dans le cadre du plan SATER, est installé dans la salle du conseil de la mairie de Mignovillard. La zone de crash étant confirmée dans le Jura, la préfecture du Doubs est désengagée le soir du 1<sup>er</sup> jour.

Les recherches prennent fin le deuxième jour à 17h45 pour la partie aérienne et à 22h48 pour la partie terrestre.

Le deuxième jour, un manque de coordination a affaibli les remontées d'informations quant à l'avancée de l'opération SATER vers le CCS, rendant difficile la conduite de l'opération par ce dernier.

L'opération SAR est clôturée le 11 janvier 2019 à 11h49 après que tous les moyens aériens déployés se sont posés sur leur base mère.

Les éléments retrouvés sur le site confirment qu'il n'y a pas eu d'éjection de l'équipage.

La présence d'un parachute dans l'arbre est due à la dislocation de l'appareil à l'impact et non à une éjection effective.

### **1.15. Essais et recherches**

Les éléments ci-dessous ont été expertisés :

- des instruments de bord et le carburant par DGA EP ;
- des éléments du moteur par l'AIA de Bordeaux ;
- des éléments de la cellule par DGA TA ;
- des éléments des sièges éjectables par DGA EV ;
- les données météorologiques par Météo-France ;
- les données radar par l'EIUOT 67.430.

### **1.16. Renseignements sur les organismes**

L'équipage et l'avion appartiennent à la troisième escadre de chasse (3<sup>e</sup> EC), implantée sur la base aérienne 133 de Nancy-Ochey. Cette escadre comprend trois escadrons de chasse, un escadron de transformation des équipages Mirage 2000D (ETD) et un ESTA. Cette escadre est la seule à être équipée de Mirage 2000D. Ses missions principales sont le bombardement, l'appui des troupes au sol et l'assaut tout temps en SDT. Le Mirage 2000D peut tirer de nombreuses bombes conventionnelles ou guidées ainsi que le missile de croisière SCALP.

Dans le cadre de l'opération Barkhane, la troisième escadre déploie des Mirage 2000D et du personnel à N'Djamena au Tchad, et à Niamey au Niger. Le personnel participe ainsi régulièrement à ces OPEX.

## 1.17. Renseignements supplémentaires

### 1.17.1. Suivi de terrain

Afin de réaliser des missions de pénétration très basse altitude, les équipages de Mirage 2000D utilisent le SDT. Pour cela, le radar Antilope de l'avion scanne le terrain situé devant lui et présente les informations d'échos de sol aux équipages sur une coupe verticale au travers de la VTB.

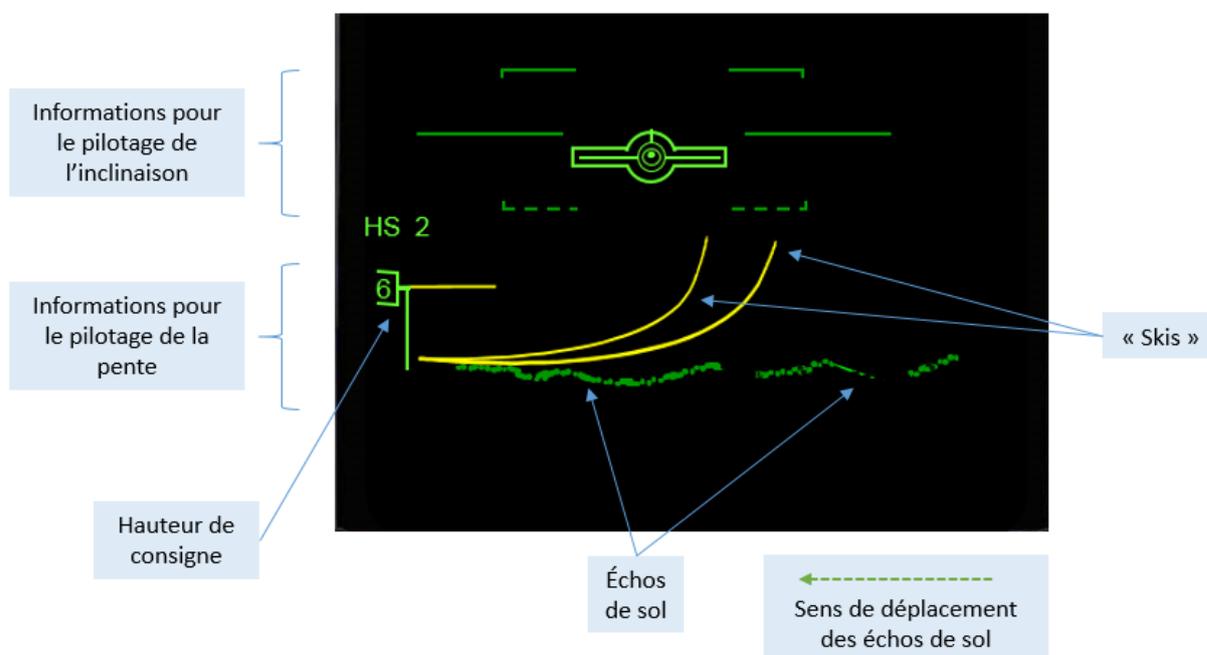


Figure 13 : schématisation de la VTB en SDT auto radar

Le pilote sélectionne une hauteur de consigne en centaine de pieds qui correspond à celle à laquelle il veut évoluer au-dessus du sol. Selon le mode de pilotage choisi, le pilote surveille ou gère sa hauteur en faisant en sorte que les échos de sol glissent en-dessous des courbes jaunes, appelées communément les « skis ». Cela garantit de maintenir la hauteur de consigne. Le pilote peut également rajouter aux informations du radar des données issues d'un fichier contenant une numérisation du sol. Ces données ne prenant pas en compte les obstacles, le pilote doit alors rajouter une hauteur de structure à sa hauteur de consigne.

D'autre part, le pilotage de l'avion peut être réalisé en automatique, à l'aide du pilote automatique (PA) ou en manuel mais de façon temporaire. En pilotage manuel, le PA est désactivé par pression sur une gâchette située sur le manche du pilote. Ce dernier doit alors interpréter les informations présentées en VTB et définir lui-même la trajectoire de l'avion. Le pilotage de la pente se fait grâce aux « skis », celui de l'inclinaison au moyen des consignes présentées en milieu de VTB.

Ainsi, en SDT, les équipages disposent de plusieurs modes, dont :

- **auto radar** : pilotage automatique en prenant pour référence les informations du radar ;
- **auto fichier** : pilotage automatique en prenant pour référence les informations du fichier ; Le pilote rajoute alors une hauteur de structure définie à partir de la hauteur des obstacles présents autour de la trajectoire. Ce mode inhibe le dégagement automatique du radar (cf. § 1.17.2) ;
- **TBA** : pilotage manuel en prenant pour référence les informations du radar.

Le répertoire d'emploi de l'aviation de chasse (REAC) précise que le SDT auto radar est le mode préférentiel quand il est possible en espace aérien réservé. Le mode TBA ne peut être que temporaire car il requiert d'importantes ressources cognitives. Dans ce mode, le navigateur doit se trouver dans la même visualisation en VTB que le pilote et doit surveiller le pilotage.

#### 1.17.2. Procédure de « dégagement » en SDT

Afin d'éviter une collision imminente avec le sol en SDT, une procédure d'urgence appelée « dégagement » existe. Elle est réalisée automatiquement en cas de vol en mode automatique ou manuellement en se rapprochant autant que possible du mode automatique en cas de vol en mode TBA.

La procédure de « dégagement » d'urgence en automatique comprend les phases suivantes :

- remise à plat des ailes puis un cabrer à quelques g pendant plusieurs secondes par le PA ;
- annonce « plein gaz sec (PGS) » suivie de la valeur de l'altitude de sécurité<sup>19</sup> par le NOSA ;
- annonce « je passe à la boule » et affichage PGS par le pilote ;
- à l'issue et au retentissement d'une alarme sonore appelée « dong », reprise des commandes par le pilote ;
- passant l'altitude de sécurité, passage trois quart dos pour interrompre la montée et redescendre vers l'altitude de sécurité avec une pente maximale de -10° ;
- annonce « on prend le cap xxx° » par le NOSA ;
- stabilisation à l'altitude de sécurité, prise de cap et traitement de l'incident ;
- en cas de bon fonctionnement du système, reprise du SDT.

La procédure de « dégagement » en manuel est identique mais elle est initiée et pilotée par le pilote.

---

<sup>19</sup> Altitude de sécurité : altitude calculée permettant de s'affranchir des obstacles sur la trajectoire prévue.

## 2. ANALYSE

L'analyse qui suit est structurée en quatre parties. La première partie présente les résultats des différentes expertises, la deuxième analyse la trajectoire, la troisième synthétise la séquence de l'évènement et la quatrième identifie les causes de l'accident.

### 2.1. Expertises techniques

#### 2.1.1. ESPAR

L'ESPAR a été fortement endommagé pendant l'évènement. Seulement deux modules de mémoire sur les 16 que contenait l'ESPAR ont été retrouvés (cf. § 1.10.1. page 15). Ils sont inexploitable.

Les actions de l'équipage et le comportement de l'avion ont dû être déduits par d'autres voies et ne sont pas connus avec précision.

#### 2.1.2. Enregistrements des radars au sol

Les données issues des différents radars au sol civils et militaires ayant détecté Coca 27 ont été expertisées par l'EIUOT 67.430 de Mont-de-Marsan. La trajectoire de Coca 27 a ainsi pu être reconstituée intégralement, ainsi que celle de Coca 26.

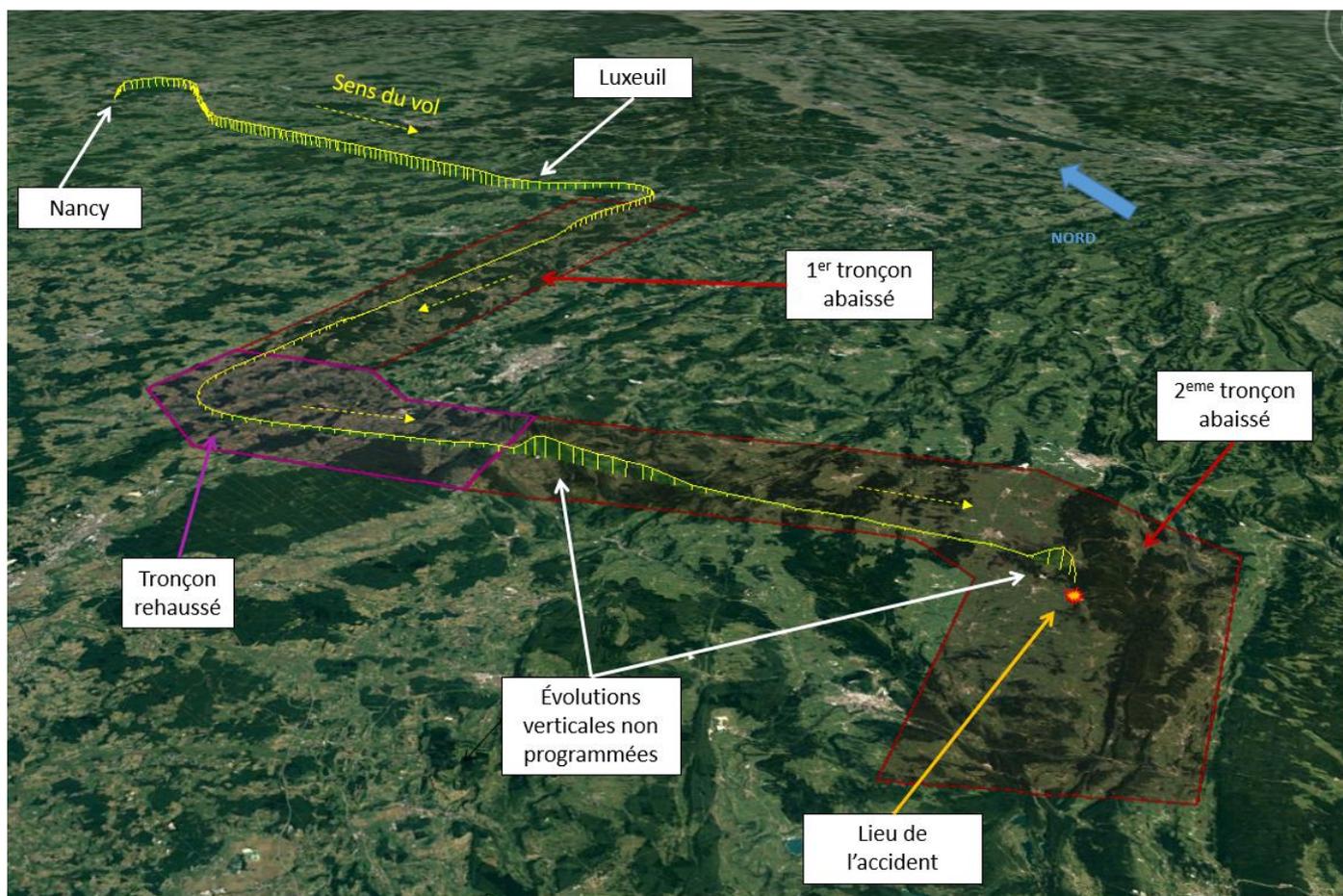


Figure 14 : trajectoire totale de Coca 27

Cette trajectoire est conforme à la préparation de mission jusqu'à la fin du tronçon rehaussé. Ensuite, deux évolutions verticales non programmées sont visibles. La seconde se termine par la collision avec le sol.

### 2.1.3. Sièges éjectables

Des éléments des sièges éjectables du pilote et du navigateur ont été retrouvés et expertisés par DGA EV. Cette expertise indique qu'il y a eu tentative d'éjection par le pilote sans que les sièges avant et arrière n'aient eu le temps d'être éjectés.

**Il y a eu tentative d'éjection par le pilote mais la séquence d'éjection a été interrompue par la collision avec le sol.**

### 2.1.4. Moteur et carburant

Le moteur a été expertisé par l'AIA de Bordeaux.

Les différents débris ont été initialement triés par module puis analysés. Aucun élément ne permet de remettre en cause le bon fonctionnement du moteur.

Aucune trace de feu ou de collision volatile n'a été identifiée. Le moteur délivrait une forte puissance, PGS ou proche, comme le suggèrent la position de la manette des gaz (repérée sur le régulateur principal) ainsi que la position fermée des volets de tuyères. Cette position des volets étant obtenue par la pression carburant, le système d'alimentation en carburant était donc en fonctionnement. Les éléments du palier 2 montrent qu'il n'y a pas eu de défaut de lubrification. De plus, il n'y a pas de trace de manque de lubrification sur les organes examinés. L'expertise montre que le moteur a heurté le sol sur son flanc droit (entre 4 et 6 heures vu de l'arrière), avec probablement un léger piquer.



Figure 15 : une partie des débris triés par module

D'autre part, le carburant prélevé dans la citerne ayant servi à faire le plein de l'avion a été analysé par DGA EP. Il correspond à un carburéacteur de type F-34/F-35. Aucune pollution organique n'a été mise en évidence. De même, l'expertise des filtres à carburant de l'avion retrouvés sur le site de l'accident n'a révélé aucune trace de pollution solide du carburant.

**L'hypothèse d'une panne du moteur n'est pas retenue. À l'impact, le moteur était en PGS. Le moteur a heurté le sol sur son flanc droit, en léger piquer.**

#### 2.1.5. Cellule

Certains débris de la cellule de l'avion ont été expertisés par DGA TA. Les résultats indiquent que :

- les becs de bord d'attaque étaient rentrés ;
- les trains d'atterrissage étaient rentrés ;
- les aérofreins étaient rentrés ;
- la gouverne de direction était légèrement orientée à droite ;
- les quatre élevons étaient quasiment en butée à piquer.

Concernant les élevons, le constructeur indique que dans le domaine de vol considéré cette position ne peut pas être due à un mouvement du manche. En revanche, l'impact final de l'avion avec les arbres ou le sol a pu engendrer un comportement inhabituel de la boucle de pilotage du système des commandes de vol, pouvant conduire à une mise en butée des élevons dans un temps très bref.

**Les positions des différents éléments mobiles de l'avion (autres que les élevons) étaient dans une position conforme à l'attendu.  
Les élevons étaient en position quasiment à piquer, probablement à cause de l'impact.**

#### 2.1.6. Instruments de vol et voyants

Plusieurs instruments de vol et voyants ont été retrouvés sur le site et expertisés par DGA EP.

##### 2.1.6.1. Instruments de vol

Seule l'expertise de l'horizon de secours a pu donner des informations. Ce dernier est figé dans une position indiquant une inclinaison vers la droite d'environ 30° et une assiette<sup>20</sup> à piquer de près de 10°. Néanmoins, DGA EP n'a pas pu confirmer ces valeurs par d'autres éléments.

---

<sup>20</sup> L'assiette est l'angle entre l'horizontale et l'axe longitudinal de l'avion.

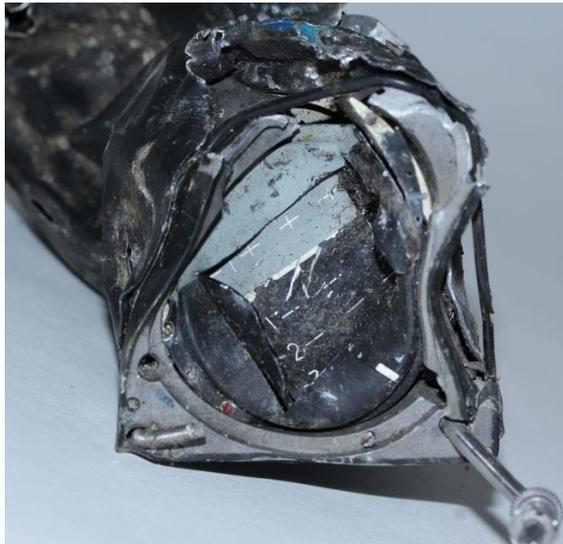


Figure 16 : détail de l'horizon artificiel de secours

La montre de bord de la place arrière a été retrouvée figée à 10h30.



Figure 17 : montre place arrière figée à 10h30

#### 2.1.6.2. Voyants

Les résultats de l'analyse des voyants sont incohérents avec leur logique d'allumage. Les conditions de l'accident ne permettent pas une analyse fiable de ceux-ci.

Il est probable que l'avion ait heurté le sol avec une inclinaison vers la droite d'environ 30° et une assiette à piquer de près de 10°.  
L'expertise des voyants n'a pas été conclusive.

### 2.1.7. Étude du site de l'accident

Le Mirage 2000D a coupé net des arbres juste avant l'impact au sol. L'angle entre, d'une part, la trajectoire passant par l'arbre coupé le plus haut et le point d'impact et, d'autre part, l'horizontale est de l'ordre de 30°.

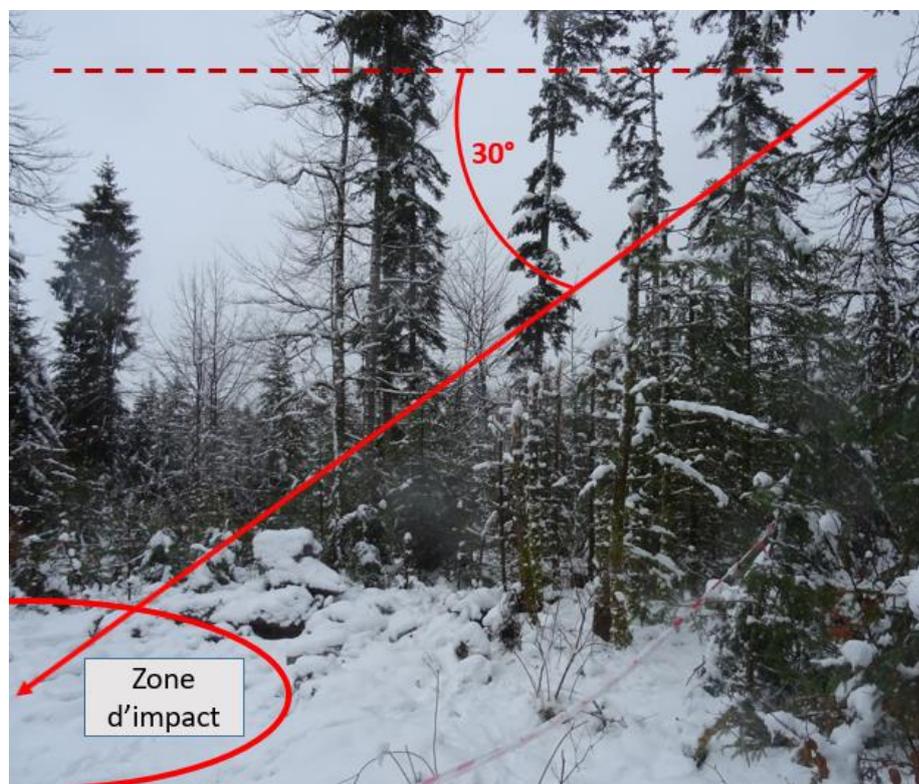


Figure 18 : angle d'arrivée de l'avion

L'avion a heurté le sol avec une pente<sup>21</sup> à piquer de l'ordre de 30°.

## 2.2. Analyse de la trajectoire

En l'absence de tout autre enregistrement, l'enquête s'est principalement appuyée sur l'analyse de la trajectoire radar déterminée par l'expertise. L'équipe d'enquête a cherché à établir les modes de SDT utilisés par Coca 27 ainsi que les causes des deux évolutions verticales non programmées.

Par la suite, DGA EV a reconstitué le vol sur son simulateur Mirage 2000D après programmation de la trajectoire radar de Coca 27. Cette reconstitution a permis de confirmer les hypothèses établies.

### 2.2.1. Correction d'altitude

Les altitudes enregistrées par les radars au sol correspondent à celles envoyées par le transpondeur de l'avion. L'analyse au simulateur a permis de constater que ces altitudes étaient surestimées d'environ 30 mètres.

<sup>21</sup> La pente est l'angle entre l'horizontale et la trajectoire de l'avion.

### 2.2.2. Transit jusqu'au RTBA

L'analyse de la trajectoire radar montre que le vol est conforme à la préparation de mission jusqu'à l'intégration dans le RTBA. Coca 27 décolle à 10h08 et transite en moyenne altitude à 6000 pieds jusqu'à Luxeuil. À l'issue du survol de la base aérienne 116 de Luxeuil, Coca 27 manœuvre pour rejoindre le point d'intégration du RTBA.

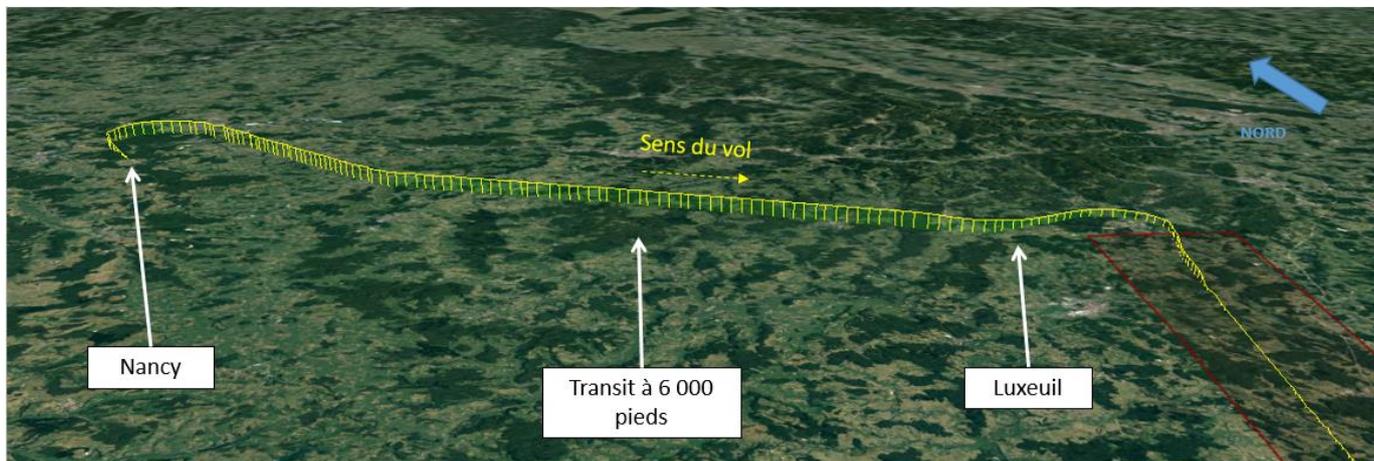


Figure 19 : détail de la trajectoire pendant le transit jusqu'au RTBA

**Le vol est conforme à la préparation de mission pendant le transit jusqu'au RTBA.**

### 2.2.3. Vol dans le premier tronçon rabaissé du RTBA

L'entrée dans le RTBA a lieu à 10h20 comme programmé.

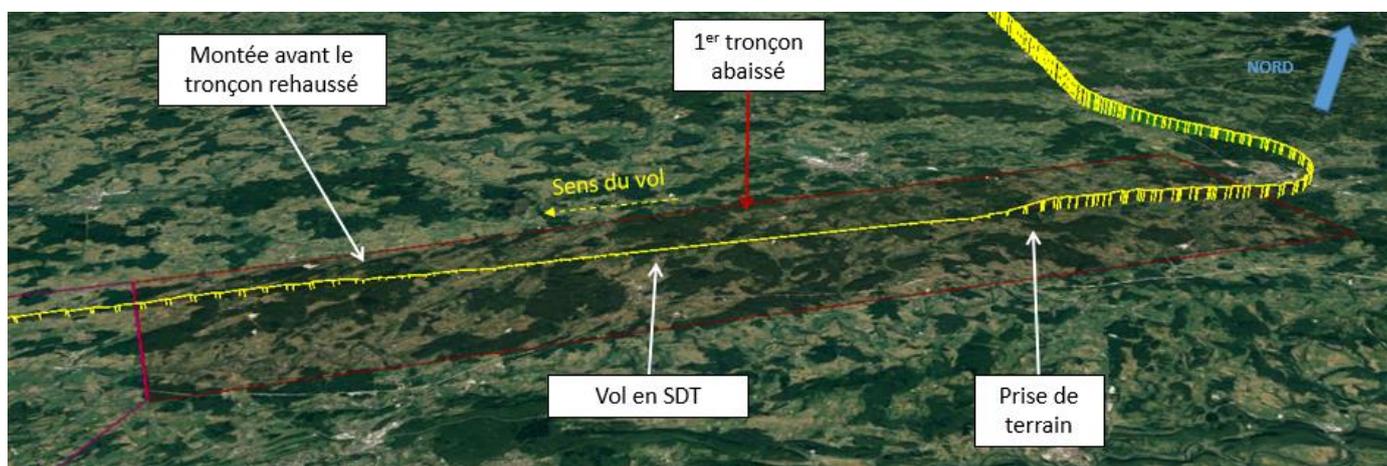


Figure 20 : détail de la trajectoire dans le premier tronçon rabaissé

Une fois dans le RTBA, Coca 27 amorce sa descente en TBA. La trajectoire présente une pente à piquer correspondant à une prise de terrain standard.

Dans cette phase de vol sans manœuvre particulière, les équipages évoluent préférentiellement en mode automatique, conformément au REAC qui précise que « le SDT auto radar est le mode préférentiel quand il est possible ».

La trajectoire de Coca 26 est identique à celle de Coca 27. Ces deux appareils évoluent donc dans le même mode et à la même hauteur de consigne. Or, Coca 26 évolue en mode auto radar avec une hauteur de consigne de 300 pieds. Il en est donc de même pour Coca 27. La reconstitution au simulateur de DGA EV a permis de confirmer cette hypothèse.

En fin de ce premier tronçon, vers 10h23mn30s, Coca 27 remonte à une hauteur de l'ordre de 1 500 pieds afin de rejoindre le tronçon rehaussé dont le plancher est fixé à 800 pieds.

**Dans le premier tronçon abaissé, Coca 27 évolue en mode radar avec une hauteur de consigne de 300 pieds.**

#### 2.2.4. Vol dans le tronçon rehaussé

Dans le tronçon rehaussé, la hauteur minimale de vol est de 800 pieds, la hauteur de consigne est de 1 000 pieds.

À nouveau, les trajectoires de Coca 26 et 27 sont identiques. Ils sont donc dans le même mode. Or Coca 26 évolue dans le tronçon rehaussé en mode auto radar avec une hauteur de consigne de 1 000 pieds. Il en est donc de même pour Coca 27. La reconstitution au simulateur de DGA EV a permis de confirmer cette hypothèse.

Coca 27 initie son virage vers un cap de 130° à 10h24mn39s. Son dernier message d'auto-information, effectué par le navigateur, est enregistré par la bande son de la VTH de Coca 26 aux alentours de 10h25.

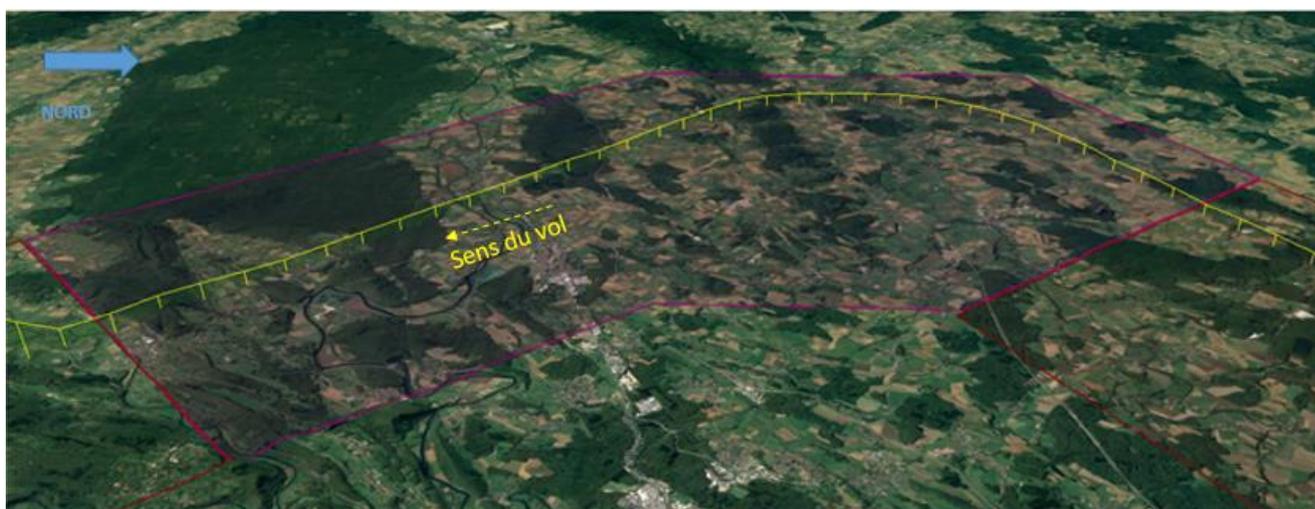


Figure 21 : détail de la trajectoire dans le tronçon rehaussé

**Dans le tronçon rehaussé, Coca 27 évolue en mode auto radar avec une hauteur de consigne de 1 000 pieds.**

## 2.2.5. Première évolution verticale

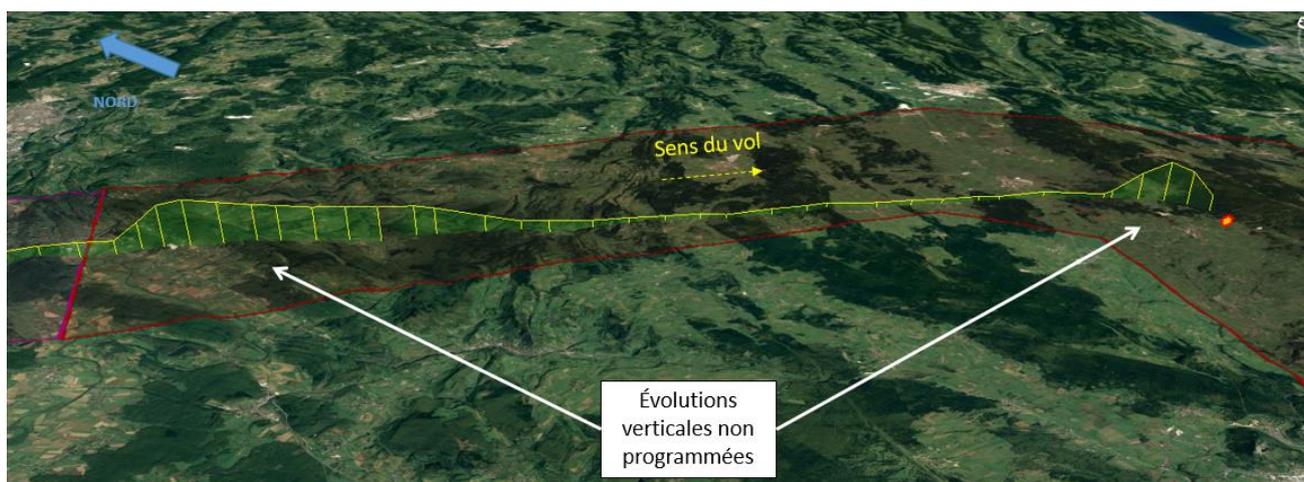


Figure 22 : détail de la trajectoire dans le deuxième tronçon abaissé

À la sortie du tronçon rehaussé et à l'entrée dans le deuxième tronçon abaissé du RTBA, Coca 27 doit redescendre en très basse altitude. Or, à ce moment, à 10h27mn01s, il effectue une forte prise de hauteur. Cette évolution ressemble à un dégagement. En effet, après un cabrer important, Coca 27 monte à une altitude de 6 600 pieds pour redescendre se stabiliser vers 5 800 pieds, ce qui correspond à l'altitude de sécurité dans ce secteur. Puis il reste approximativement à cette altitude pendant environ 30 secondes, probablement pour traiter ce dégagement. À 10h27mn54s, il redescend en très basse altitude, avec une pente descendante correspondant à une prise de terrain standard.

La reconstitution au simulateur de DGA EV a permis de confirmer cette hypothèse.

Un tel dégagement est courant et les équipages y sont préparés. Coca 27 reprend son vol en SDT comme prévu par la procédure.

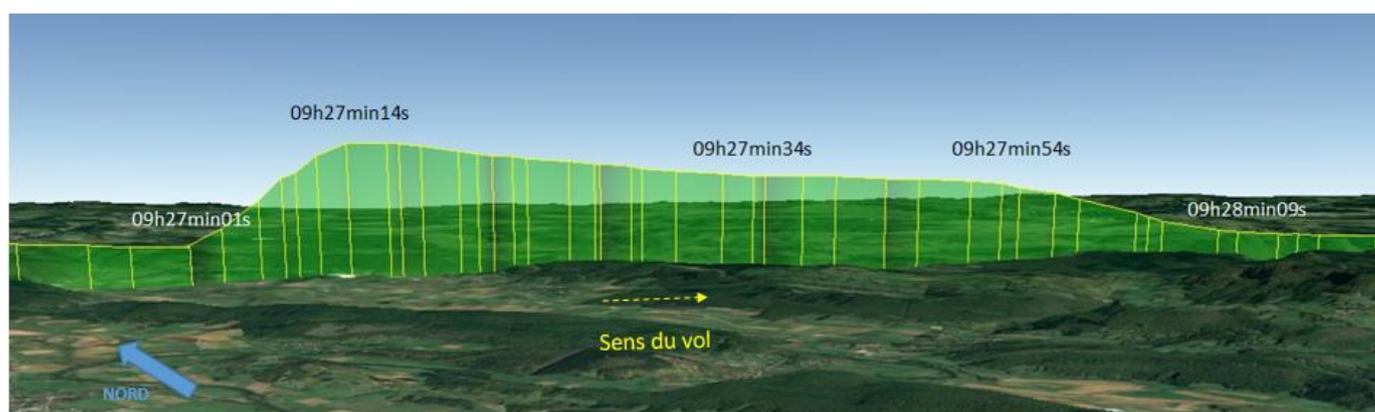


Figure 23 : détail de la trajectoire de la première évolution verticale en UTC

La première évolution verticale correspond à un dégagement.

### 2.2.6. Causes probables du 1<sup>er</sup> décollage

Coca 27 évolue en mode auto radar dans le tronçon rehaussé. Il est donc encore probablement dans ce mode au moment du décollage.

#### 2.2.6.1. Test interne du radar

Le radar dispose de tests internes de sécurité susceptibles d'entraîner un décollage automatique. En effet, en cas de doute sur le fonctionnement du radar, il est préférable de rejoindre l'altitude de sécurité. La survenue d'un tel décollage est plus ou moins fréquente selon les avions. Les équipages n'ont pas systématiquement la connaissance exacte des causes des décollages. De plus, il n'y a pas de suivi en retour de vol de ces décollages. L'hypothèse d'un décollage automatique suite à un test interne du radar est possible.

#### 2.2.6.2. Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques peuvent perturber le système de SDT du Mirage 2000D et déclencher un décollage automatique.

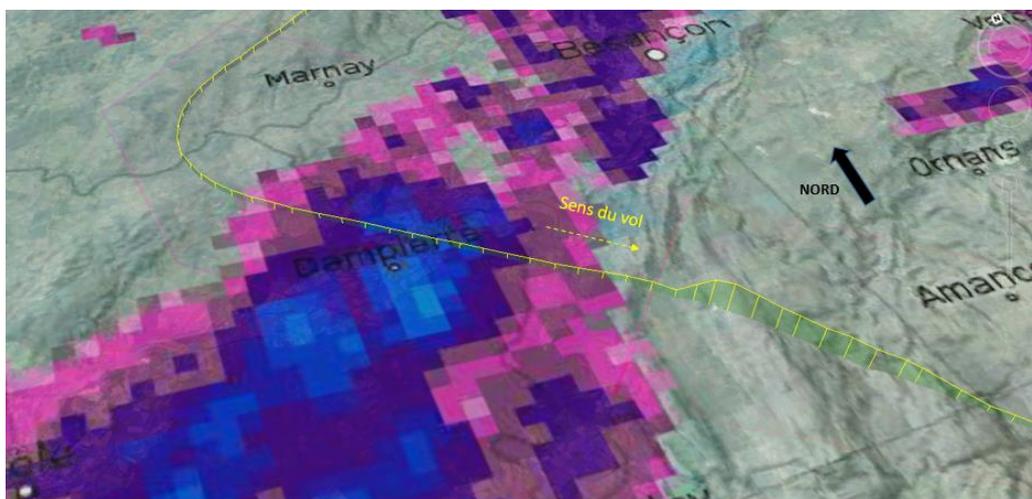


Figure 24 : précipitations au moment du premier décollage

Les images radar indiquent que Coca 27 venait de traverser une zone de précipitations mais qu'au moment du 1<sup>er</sup> décollage, il n'y avait plus de précipitations. Néanmoins, les conditions météorologiques étaient dégradées et très humides pendant tout le vol dans le RTBA. L'hypothèse d'un décollage dû aux conditions météorologiques est donc possible.

#### 2.2.6.3. Panne technique autre que le radar

Certaines pannes techniques peuvent entraîner un décollage automatique. Si l'équipage avait été confronté à une panne, il aurait pris le temps de la traiter et aurait retardé sa reprise de terrain, voire aurait annulé son vol en cas de panne majeure. Or, la reconstitution au simulateur de DGA EV a permis de constater que l'équipage n'a eu que le temps de réaliser la procédure standard de décollage et de reprise de terrain. Il n'a donc pas pu traiter une éventuelle panne. L'hypothèse d'une panne technique est rejetée.

#### 2.2.6.4. Erreur de sélection de la hauteur de consigne du radioaltimètre

Le 1<sup>er</sup> dégagement se produit au moment où Coca 27 sort du tronçon rehaussé et doit redescendre en TBA. La procédure prévoit que l'équipage doit modifier la hauteur de consigne du radioaltimètre, appelée « SelH ». Cette hauteur est celle à laquelle, si l'avion passe en-dessous, une alarme symbolisée par une flèche dirigée vers le haut et visible sur la VTB et la VTH indique au pilote qu'il doit effectuer un dégagement manuel. Elle est réglée légèrement en-dessous de la hauteur de consigne.

L'équipage a pu faire une erreur de saisie de la nouvelle hauteur de consigne du radioaltimètre lorsqu'il est rentré dans le tronçon abaissé. Il aurait alors réalisé un dégagement manuel à l'apparition de la flèche dans sa VTB.

#### 2.2.6.5. Coupure volontaire du radar pour entraînement

Pour entraînement ou démonstration du dégagement automatique, le navigateur peut couper le radar. Le navigateur étant SCN, il avait des prérogatives d'instruction. Il aurait pu, pour entraîner son pilote, couper le radar.

Néanmoins, cette hypothèse n'est pas retenue car ces pratiques sont plutôt réalisées durant des vols de qualification et après les exercices de passe de tir. De plus, pour l'équipage, il s'agissait d'un vol de reprise et les conditions météorologiques n'étaient pas propices.

**L'hypothèse d'un dégagement automatique dû :**

- à un test interne du radar ou aux conditions météorologiques est possible ;
- à une panne autre que le radar ou à une coupure volontaire du radar pour entraînement est rejetée.

**L'hypothèse d'un dégagement manuel suite à une erreur de sélection de la hauteur consigne du radioaltimètre « SelH » demeure possible.**

#### 2.2.7. Vol dans le deuxième tronçon abaissé du RTBA

Dans ce tronçon, Coca 26 est détecté 500 pieds plus haut que Coca 27. Or il évolue à ce moment en mode auto fichier avec une hauteur de 800 pieds. Coca 27 évolue donc avec une hauteur de consigne de 300 pieds. Il est donc en mode auto radar ou TBA. La reconstitution au simulateur de DGA EV a permis de confirmer cette hypothèse.

À la fin de ce tronçon, Coca 27 devait réaliser une simulation de passe de tir SCALP. Les équipages abordent cette phase en mode auto fichier ou TBA pour éviter un dégagement automatique intempestif pendant la procédure de tir. Puis ils maintiennent généralement le vol dans le mode choisi jusqu'au tir, afin d'éviter un changement de mode peu de temps avant. La préparation de mission mentionne d'ailleurs que la passe de tir doit se faire en mode auto fichier ou TBA. N'étant pas en mode auto fichier car 500 pieds en-dessous de Coca 26, Coca 27 évolue en mode TBA.

**Dans le deuxième tronçon rabaissé, Coca 27 évolue en mode TBA avec une hauteur de consigne de 300 pieds jusqu'à la simulation de passe de tir.**

Après la simulation de passe de tir, l'équipage doit virer à droite pour réaliser une évasive. D'ailleurs, entre le point de largage de l'armement (PLA) et la deuxième évolution verticale, la trajectoire de Coca 27 vire vers la droite.

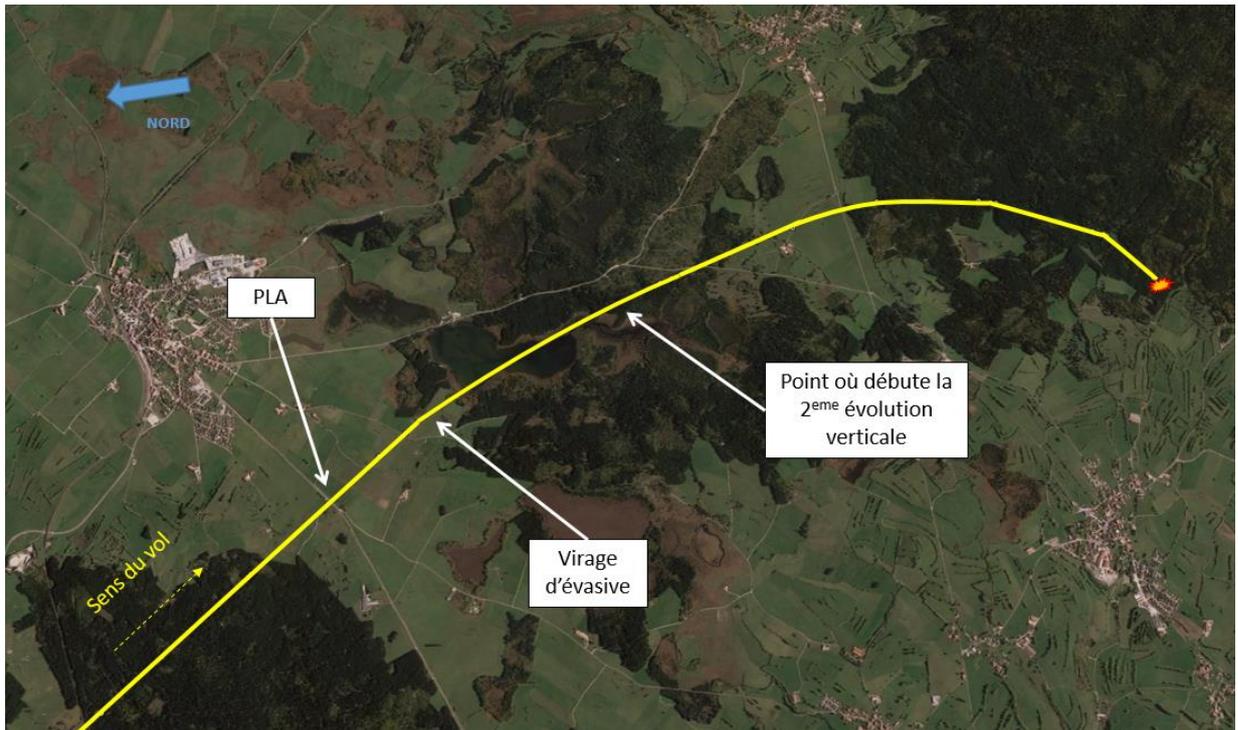


Figure 25 : virage d'évasive

Lors des simulations de tir en mode TBA, l'usage veut que les équipages maintiennent ce mode le temps d'initier le virage puis qu'ils repassent en mode auto radar rapidement pour s'affranchir du pilotage qui, en mode TBA, demande beaucoup de ressources cognitives.

**À l'issue du tir, l'équipage initie un virage vers la droite pour simuler une évasive. Il est alors probablement repassé en mode auto radar.**

#### 2.2.8. Deuxième évolution verticale

Cette deuxième évolution verticale ressemble à un dégagement. Celui-ci est réalisé en automatique ou en manuel suivant le mode sélectionné après la passe de tir (auto radar ou TBA). Le sommet de cette évolution se situe à une altitude de 7 800 pieds. Ensuite, Coca 27 redescend jusqu'au sol sans s'arrêter à l'altitude de sécurité, avec une pente allant jusqu'à 50° de piquer. La trajectoire ne correspond donc pas à la procédure qui prévoit de redescendre avec un piquer de 10° vers l'altitude de sécurité et de s'y stabiliser.

Pendant les premières secondes de ce dégagement, la trajectoire est rectiligne, ce qui correspond à la remise à plat pendant le cabrer initial. Puis Coca 27 vire à droite, probablement pour éviter de sortir du RTBA, voire de pénétrer dans l'espace aérien Suisse.

**La deuxième évolution verticale est un dégagement, réalisé en manuel ou en automatique. Après un cabrer initial rectiligne, Coca 27 vire à droite pour rester dans le RTBA. Au cours de cette manœuvre, l'équipage n'a pas stabilisé à l'altitude de sécurité et a poursuivi le piquer jusqu'au sol.**



Figure 26 : détail dans le plan vertical de la deuxième évolution verticale

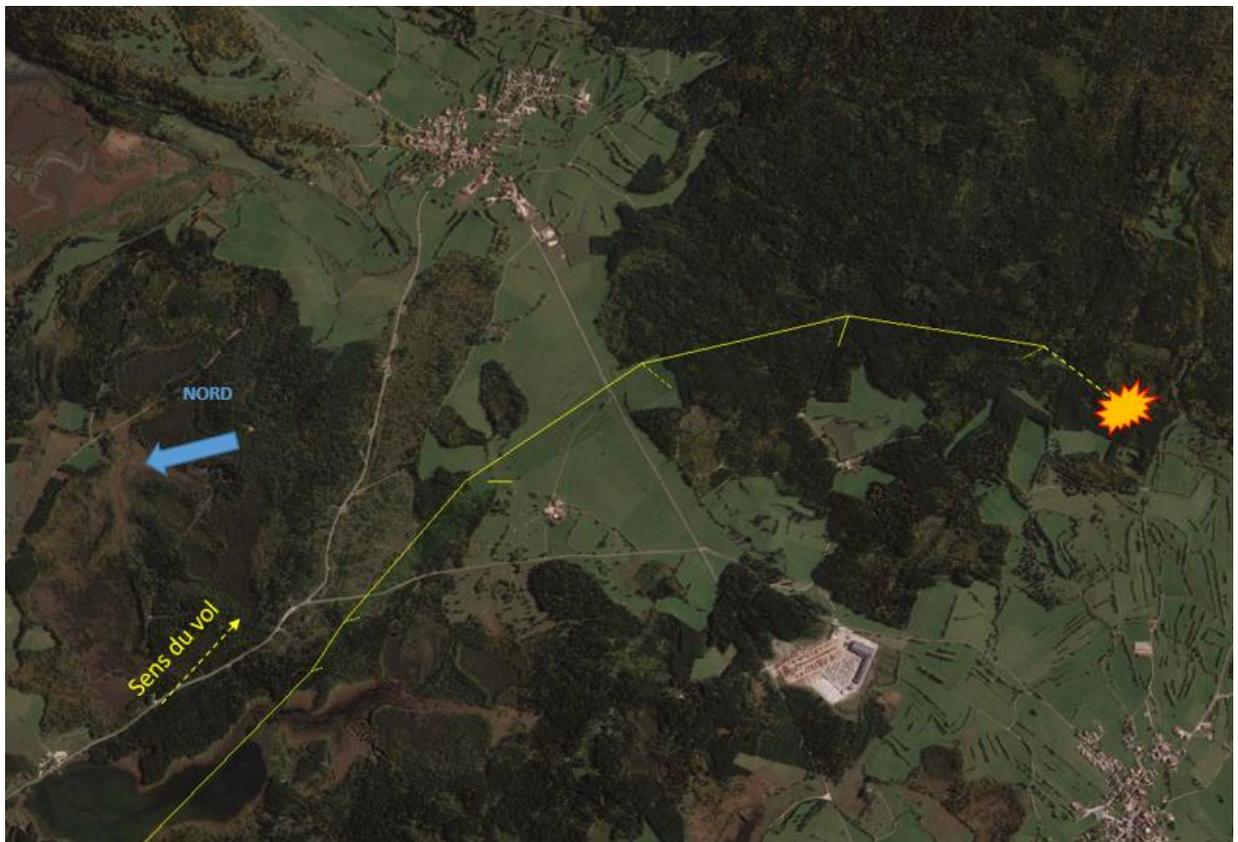


Figure 27 : détail dans le plan horizontal de la deuxième évolution verticale

## 2.2.9. Causes probables du deuxième déviation

### 2.2.9.1. Test interne du radar

Comme pour le premier déviation, un test interne du radar a pu provoquer un déviation automatique ou déclencher l'alarme « montée à l'altitude sécurité », obligeant l'équipage à réaliser un déviation manuel. Cette hypothèse est possible.



#### 2.2.10. Phase finale de la trajectoire

La reconstitution au simulateur de DGA EV montre que pour pouvoir suivre la trajectoire finale de Coca 27, il faut prendre un piquer allant jusqu'à 50°.

Or, les constatations sur site semblent indiquer que l'avion est arrivé au sol avec une pente plus faible, ce qui suggère que le pilote ait tenté de réaliser une sortie de piquer avant la collision avec le sol.

En effet, d'une part la découpe des arbres semble indiquer que l'avion est arrivé au sol avec une pente à piquer de l'ordre de 30°, d'autre part l'expertise de l'horizon de secours semble indiquer que l'avion avait une assiette à piquer de l'ordre de 10° au moment de l'impact.

Cela est corroboré par l'expertise du moteur qui indique que celui-ci a heurté le sol avec un léger piquer, sur son flanc droit.

Or en cas de ressource avec un cabrer maximal, l'incidence<sup>22</sup> peut monter jusqu'à une quinzaine de degrés, compte tenu de la vitesse estimée. Ce qui correspond alors à une pente à piquer de l'ordre de 25°.

Les expérimentations au simulateur de vol de l'ETD ont montré qu'au plus tard, la ressource doit avoir lieu à une hauteur de 1 500 pieds, soit environ 5 secondes avant la collision pour éviter le sol.

**Une tentative de sortie de piquer a été initiée moins de 5 secondes avant la collision avec le sol.**

Voyant que cette manœuvre de ressource ne lui permettait pas d'éviter le sol, le pilote a alors tenté d'éjecter l'équipage (cf. § 2.1.3. page 26), mais trop tardivement car les sièges n'ont pas eu le temps de partir. Entre le moment où la poignée d'éjection est tirée par le pilote et le moment où le premier siège (navigateur) quitte l'appareil, il s'écoule 170 millisecondes. La tentative d'éjection a donc eu lieu moins de 170 millisecondes avant la collision avec le sol.

**Le pilote a tenté d'éjecter l'équipage moins de 170 millisecondes avant la collision avec le sol.**

#### 2.2.11. Séquence de l'évènement

Au vu des résultats obtenus (expertises techniques et essais en vol), la séquence de l'évènement est la suivante :

- 10h20mn01s : intégration dans le RTBA ; descente vers 300 pieds sol ;
- 10h24mn14s : passage dans le tronçon rehaussé ;
- 10h26mn57s : sortie du tronçon rehaussé ;
- 10h27mn01s : 1<sup>er</sup> dégagement ;
- 10h27mn14s : sommet du 1<sup>er</sup> dégagement ;
- 10h27mn54s : début de reprise de SDT ;
- 10h28mn09s : reprise du SDT ;
- 10h28mn09s à 10h29mn19s : vol en mode TBA à une hauteur de consigne de 300 pieds jusqu'à la simulation de passe de tir ;
- 10h29mn19s : passage du PLA et virage à droite pour l'évasive ; passage probable en mode auto radar ;
- 10h29mn32s : 2<sup>e</sup> dégagement ;
- 10h29mn44s : sommet du 2<sup>e</sup> dégagement et mise en virage à droite pour rester dans le RTBA ;

<sup>22</sup> L'incidence est définie par l'angle entre le vent relatif et l'axe longitudinal de l'avion.

- après le sommet du 2<sup>e</sup> dégagement lors de la reprise de terrain : non stabilisation à l'altitude de sécurité ;
- moins de 5 secondes avant la collision : tentative de ressource ;
- moins de 170 millisecondes avant la collision : tentative d'éjection ;
- 10h30mn : collision avec le sol.

## 2.3. Recherche des causes de l'évènement

### 2.3.1. Perception de l'équipage

L'évènement se produit au cours du second dégagement imprévu. Cette procédure est connue et les équipages s'y entraînent. Pourtant, lors du second dégagement, il n'y a pas eu de stabilisation à l'altitude de sécurité. L'avion a poursuivi sur une trajectoire avec un piquer très supérieur à 10°, valeur maximale imposée par la procédure, jusqu'à la collision avec le sol.

La reconstitution au simulateur de DGA EV montre que le temps entre le passage au-delà de 10° de piquer et la collision avec le sol est de l'ordre de 10 secondes. Dans les 5 dernières secondes, le pilote a tenté une sortie de piquer et débuté une procédure d'éjection. L'intervalle de temps entre lequel la trajectoire ne correspond plus à celle attendue (piquer supérieur à 10°) et la tentative de récupération (sortie de piquer) est donc d'environ 5 secondes.

Dans ces phases de dégagement, chaque membre d'équipage a une tâche précise à effectuer. Le pilote est en charge de la trajectoire et le navigateur en assure la surveillance. Pendant le court laps de temps de 5 secondes précédant la tentative de sortie de piquer, le pilote a une représentation incorrecte de l'attitude de l'avion et de sa trajectoire.

De son côté, le navigateur a, dans ce délai de 5 secondes :

- soit une représentation correcte de l'attitude de l'avion et de sa trajectoire mais :
  - n'a pas eu le temps d'alerter le pilote ou,
  - a pu alerter le pilote mais celui-ci n'a pas entendu (surdité inattentionnelle<sup>23</sup>) ou,
  - a pu alerter le pilote mais celui-ci n'a pas compris ;
- soit également une représentation incorrecte de l'attitude de l'avion et de sa trajectoire.

Les raisons les plus probables envisagées de la représentation incorrecte de l'attitude de l'avion et de sa trajectoire seraient une incapacité subite du pilote ou une désorientation spatiale<sup>24</sup> de l'équipage.

---

<sup>23</sup> La surdité d'inattention ou surdité inattentionnelle est le fait d'échouer à remarquer un stimulus, généralement inattendu, mais pourtant parfaitement perceptible. Le phénomène se produit typiquement parce que trop d'éléments mobilisent déjà l'attention de l'observateur.

<sup>24</sup> En aéronautique, la désorientation spatiale correspond à une situation au cours de laquelle un membre d'équipage a une perception erronée de la position, du mouvement ou de l'attitude de son aéronef ou de lui-même par rapport au système fixe de coordonnées fourni par la surface de la terre et la verticale gravitaire. Cette désorientation spatiale peut être reconnue ou non par l'individu.

#### 2.3.1.1. Incapacité subite du pilote

Le pilote aurait pu être confronté une incapacité subite en vol, notamment de type G-loc<sup>25</sup>. Toutefois, cette hypothèse est peu probable car :

- la reconstitution au simulateur de DGA EV a montré que la trajectoire était pilotée jusqu'à l'impact ;
- le profil d'accélération Gz subies par l'équipage, estimé par les différentes expertises, est difficilement compatible avec la survenue d'une perte de conscience sous facteur de charge ;
- l'équipage a été confronté à un premier dégageur quelques minutes avant ; il a donc déjà subi un niveau de facteur de charge similaire.

**L'hypothèse que le pilote ait subi une incapacité subite en vol est rejetée.**

#### 2.3.1.2. Désorientation spatiale de l'équipage

Après le passage trois quart dos, l'équipage ne stabilise pas à l'altitude de sécurité et poursuit sur une trajectoire avec un fort piquer pendant plusieurs secondes avant d'effectuer une ressource tardive. Cette absence de stabilisation à l'altitude de sécurité qui a conduit l'aéronef à adopter une attitude dangereuse (position inusuelle à piquer, proche du sol et à vitesse élevée) indique que l'équipage a pu subir une désorientation spatiale non reconnue comme telle. La tentative de ressource ainsi que le commencement d'une procédure d'éjection indiquent que cette désorientation spatiale a pu être reconnue dans les dernières secondes.

Classiquement, la désorientation spatiale en vol peut être expliquée par trois phénomènes : la survenue d'une illusion perceptive, une conscience erronée de la situation liée à une focalisation attentionnelle, ou encore un affichage erroné des informations fournies par les instruments.

##### **Illusion perceptive**

La perception de l'espace résulte de l'intégration d'informations issues de divers capteurs dont les capteurs biologiques sensoriels et plus spécifiquement les systèmes visuel, vestibulaire et proprioceptif<sup>26</sup>.

Une illusion perceptive (voir annexe) correspond à une situation au cours de laquelle l'individu a une perception erronée de la position et du mouvement de son corps dans l'espace. Les illusions perceptives peuvent aboutir à une désorientation spatiale.

##### *Absence de références visuelles*

En l'absence d'informations visuelles, la perception de l'espace peut être soumise à de nombreuses illusions perceptives.

Les différentes informations météorologiques disponibles (cf. § 1.7. page 13) indiquent la présence d'une couche nuageuse épaisse sur l'ensemble du vol dans le RTBA. Toutefois, juste avant le deuxième dégageur, deux témoins ont vu l'avion quelques secondes. Celui-ci était donc sous la couche à ce moment-là.

---

<sup>25</sup> G-loc : *gravity induced loss of consciousness*. Il survient lors de la prise de facteurs de charge et entraîne la perte de connaissance.

<sup>26</sup> Les récepteurs proprioceptifs assurent la proprioception, c'est-à-dire la perception, consciente ou non, de la position des différentes parties du corps.

Il est très probable qu'il évoluait en limite de couche, alternativement dans et hors des nuages. Ce phénomène peut être perturbant pour les pilotes, même s'ils sont censés ne piloter qu'aux instruments.

Il est donc très probable que Coca 27 ait réalisé le deuxième dégageement majoritairement en conditions de vol aux instruments (IMC), avec des passages ponctuels en VMC.

#### *Forte sollicitation de l'appareil vestibulaire*

Après la passe de tir, l'avion a viré franchement vers la droite puis, à cause du dégageement, a remis les ailes à plat avec le taux de roulis maximal avant de cabrer fortement pendant plusieurs secondes. Par la suite, l'avion a viré franchement à droite tout en passant trois quart dos. Ces fortes sollicitations sont susceptibles de favoriser les illusions perceptives de chacun des membres de l'équipage.

#### *Informations présentées par l'indicateur sphérique gyroscopique (ISG)*

En l'absence de références visuelles, le risque d'illusions perceptives étant important, il est recommandé aux pilotes de se référer aux informations fournies par les instruments de vol. La reconstitution au simulateur de DGA EV a montré que dans la phase de piquer, la ligne d'horizon de l'ISG disparaît pratiquement du fait de la forte pente et du fort virage. L'instrument ne présentait alors pratiquement plus que sa face de couleur marron.

Cet instrument indiquait bien au pilote que son aéronef se dirigeait vers le sol. Toutefois, un temps d'analyse de celui-ci est également nécessaire pour déterminer les actions de pilotage à réaliser pour la manœuvre de sortie de piquer. Ce temps d'analyse est d'autant plus important que l'ISG ne présente que peu d'informations permettant d'interpréter l'attitude de l'avion.

#### *Autres facteurs*

Par ailleurs, il existe d'autres facteurs susceptibles de favoriser les illusions perceptives au sein de l'équipage. Dans le cas présent, ces facteurs sont une forte charge cognitive subie par l'équipage à cet instant du vol, une expérience limitée et un manque d'entraînement (cf. § 2.3.2. page 43).

**Les conditions météorologiques et les stimulations vestibulaires dues à la trajectoire de l'avion sont propices à l'apparition d'illusions perceptives d'origine vestibulaire.  
Une illusion perceptive est à l'origine d'une désorientation spatiale de l'équipage.**

#### **Conscience erronée de la situation**

L'évènement survient au moment où devait être réalisée la simulation de passe de tir SCALP. Cette phase est particulièrement complexe et exige de nombreuses ressources cognitives pour traiter l'information perçue sur la VTB, agir aux commandes et réaliser les procédures de tir. Cette exigence attentionnelle l'est encore davantage pour le pilote tout juste PCO et dont les compétences, notamment relatives au SDT, sont encore en cours de mûrissement.

De plus, deux minutes avant la simulation de passe de tir, l'équipage est confronté à un premier dégageement imprévu qui a retardé son plan d'action et réduit tous les délais pour la préparation de cette simulation. En effet, la reprise de SDT suite à ce dégageement a lieu une minute et 20 secondes avant la passe de tir. L'équipage aborde donc la simulation de passe de tir avec une forte charge cognitive et une forte pression temporelle.

Et c'est justement après la passe de tir, et alors que le pilote initie son virage à droite, qu'a lieu le deuxième dégageement imprévu.

Ce dernier entraîne un changement de plan d'action de l'équipage, intensifiant encore plus sa charge de travail. En effet, l'équipage doit alors en très peu de temps gérer son second dégageement tout en assurant simultanément son cap afin de ne pas sortir du réseau RTBA. La surveillance de l'attitude de l'aéronef, de l'altitude et du cap à suivre constituent des tâches simultanées. Or, les ressources attentionnelles étant limitées, l'attention ne peut être portée sur ces différents paramètres à la fois, sauf en réalisant un balayage visuel. Si l'une de ces tâches devient plus exigeante en termes de ressources attentionnelles, il est possible alors de ne pas détecter les évolutions des autres paramètres. Lors du vol, il est possible que le pilote ait porté son attention sur :

- le cap à rejoindre afin d'éviter de sortir du RTBA ;
- une éventuelle panne technique qui aurait été la cause du dégageement (cf. § 2.2.9.3. page 37) ou qui serait survenue à ce moment ;
- une autre action.

Ces conditions sont alors toutes susceptibles de générer une conscience erronée de la situation, l'attention n'étant alors plus portée sur les paramètres indiquant l'attitude et l'altitude de l'aéronef, pendant les 5 secondes où la trajectoire n'a pas été contrôlée.

**Une conscience erronée de la situation, due à une charge cognitive élevée et une forte pression temporelle, est à l'origine d'une désorientation spatiale de l'équipage.**

#### **Affichage des informations fournies par les instruments de vol**

Les pilotes réalisent les dégagements en utilisant comme seuls instruments l'ISG et l'altimètre. L'enquête n'a pas permis de déceler un dysfonctionnement d'un de ces deux systèmes.

Pourtant, sans être fréquents, les dysfonctionnements de ces instruments ne sont pas complètement exceptionnels. Ainsi, en 2018, l'ESTA a relevé 21 dysfonctionnements de l'altimètre et 52 de l'ISG.

Une panne de l'ISG est susceptible de supprimer l'information principale d'attitude utilisée par les pilotes pendant les dégagements. Dans ce cas, le risque d'une désorientation spatiale serait très important. Toutefois, même en cas de panne, notamment d'alimentation électrique, l'ISG reste valide pendant quelques minutes. Et le pilote dispose toujours des informations de la VTH, même si celles-ci peuvent conduire à des erreurs d'interprétation.

L'hypothèse que la panne de l'altimètre soit à l'origine de l'évènement est peu probable. En effet, l'équipage dispose alors toujours d'une indication de hauteur avec la radiosonde.

**L'hypothèse que la désorientation spatiale de l'équipage soit liée à un panne de l'ISG ou de l'altimètre est improbable.**

#### 2.3.1.3. Synthèse

**Lors du deuxième dégageement, l'équipage n'a pas stabilisé à l'altitude de sécurité et a poursuivi le vol en piquer vers le sol. Il a subi une désorientation spatiale due à une illusion sensorielle et une conscience erronée de la situation.**

## 2.3.2. Contexte de l'évènement

### 2.3.2.1. Niveau de risque de la mission

La mission d'AST est une mission à risque élevé car les marges d'erreur sont très faibles. En effet, les avions évoluent en TBA et à très grande vitesse, parfois en IMC lors des vols dans le RTBA. En outre, plus la hauteur de consigne est faible, plus les marges de manœuvre pour répondre aux instructions du système sont réduites. Toute erreur de pilotage est susceptible de conduire l'avion à heurter le sol. On parle alors de situation non tolérante à l'erreur. La formation des équipages permet toutefois d'affronter ce niveau de difficulté, et les qualifications obtenues par chaque membre d'un équipage valident des compétences reconnues et adaptées, comme c'est le cas pour l'équipage Coca 27.

Pour minimiser la prise de risque, les équipages ont pour consigne de voler en mode automatique<sup>27</sup> (radar ou fichier) car le système est fiable et a fait ses preuves. Néanmoins, la passe de tir SCALP est réalisée de préférence en mode TBA. Le pilotage manuel en mode TBA est techniquement délicat et nécessite une grande attention. En effet, le pilote doit suivre sur la VTB les indications de direction et de hauteur à adopter. Or, la symbologie de l'affichage tête basse n'est pas intuitive, ce qui rend le mode TBA techniquement exigeant en terme de ressources cognitives. La direction à suivre (droite-gauche) s'interprète en fonction de la position de deux tirets qui évoluent de part et d'autre du vecteur vitesse (cercle au milieu de la VTB). La hauteur, quant à elle, s'interprète en fonction de symboles horizontaux défilant progressivement de droite à gauche dans la partie basse de la VTB.

Alors que la procédure de SDT exige du pilote une attention tournée exclusivement sur la VTB, l'absence de visibilité extérieure augmente la sensation de difficulté du pilotage, l'équipage n'ayant aucune référence visuelle pour s'aider en vision périphérique.

Enfin, le vol en SDT nécessite de respecter plusieurs procédures et d'être bien mécanisé.

Ce type de vol demande donc un entraînement régulier.

**Le SDT en mode TBA est techniquement exigeant, et ce encore davantage avec des conditions météorologiques de vol aux instruments. Les marges d'erreur sont quasi nulles. Ces missions appellent un entraînement conséquent.**

### 2.3.2.2. Baisse du niveau d'entraînement

#### **Déficit en entraînement organique<sup>28</sup>**

La 3<sup>e</sup> escadre de chasse connaît depuis plusieurs années un déficit en entraînement organique. Celui-ci est dû à un engagement important en opérations extérieures et à une faible disponibilité des Mirage 2000D. De plus, le spectre des missions attribuées à l'escadre s'est élargi depuis la mise en service de cet avion. Mécaniquement, pour une mission donnée, le niveau d'entraînement des équipages diminue. Ce phénomène touche particulièrement les pilotes dans la mesure où les NOSA, moins nombreux en escadron, volent davantage.

Les priorités sont données aux vols de qualification au détriment des vols de « mûrissement ». Ainsi, les équipages réalisent peu de vols pour maintenir ou approfondir leurs compétences, ce qu'ils appellent « voler dans leur qualification ». Généralement, ils volent pour s'entraîner au passage d'une qualification supérieure ou pour l'entraînement d'autres pilotes.

---

<sup>27</sup> REAC : « le SDT auto radar est le mode préférentiel quand il est possible ».

<sup>28</sup> L'entraînement organique correspond aux missions de mise et de maintien en condition opérationnelle. Il ne comprend donc pas les missions opérationnelles réalisées en OPEX.

Ils volent également beaucoup durant les OPEX. Mais les vols réalisés durant ces séjours, qui augmentent les heures de vol, ne sont pas représentatifs de l'ensemble du spectre des missions de l'escadre. Au sein des équipages en progression, qu'ils soient peu expérimentés ou peu entraînés, ce rythme entraîne le sentiment de devoir très périodiquement se réaccoutumer à chaque mission du spectre considéré, sans parvenir réellement à progresser.

**La 3<sup>e</sup> EC connaît un déficit en entraînement organique depuis plusieurs années.**

#### Manque d'entraînement organique de l'équipage de Coca 27

En juillet 2018, face à la dégradation de l'entraînement organique des équipages de la 3<sup>e</sup> EC, et pour limiter les risques, l'armée de l'air a fixé des objectifs d'heures de vol à réaliser annuellement pour les pilotes en fonction de leur qualification. Ces heures de vol sont complétées par celles réalisées en OPEX pour atteindre une activité annuelle acceptable. Pourtant, ces vols en OPEX, donc ceux réalisés par le pilote et le navigateur de Coca 27, ne permettent pas le perfectionnement dans tout le spectre de mission de la 3<sup>e</sup> EC.

En 2017, le pilote de Coca 27 réalise 122 heures de vol, ce qui est faible pour un jeune pilote à l'instruction. En 2018, il réalise 148 heures d'entraînement organique dont 10 heures de convoyage vers l'Afrique et 66 heures de vol en OPEX. En 2018, il atteint donc le seuil fixé et dépasse même les 180 heures de vol (normes armée de l'air et OTAN).

En définitive, le pilote, qualifié PCO quatre mois avant l'évènement, doit acquérir de l'expérience dans sa qualification par des vols de mûrissement qui sont trop peu nombreux et irréguliers, ce qui justifie d'ailleurs le choix de la mission du jour.

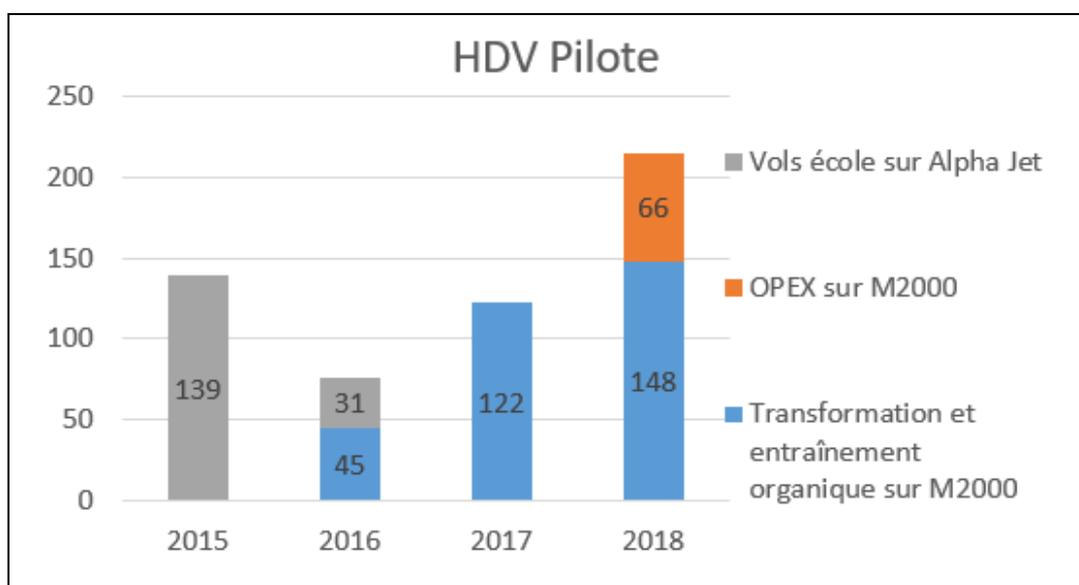


Figure 29 : heures de vol du pilote

Pour sa part, le NOSA a effectué un nombre d'heures de vol constant aux alentours de 225 par an, dont au moins une OPEX par an centrée sur un spectre plus réduit de missions. En 2018, du fait de deux OPEX consécutives, il n'a volé que 93 heures en missions d'entraînement organique. Pour les NOSA, il n'y a pas de seuil fixé, mais le volume d'heures réalisées en 2018 en entraînement organique par celui de Coca 27 est conjoncturellement plus faible.

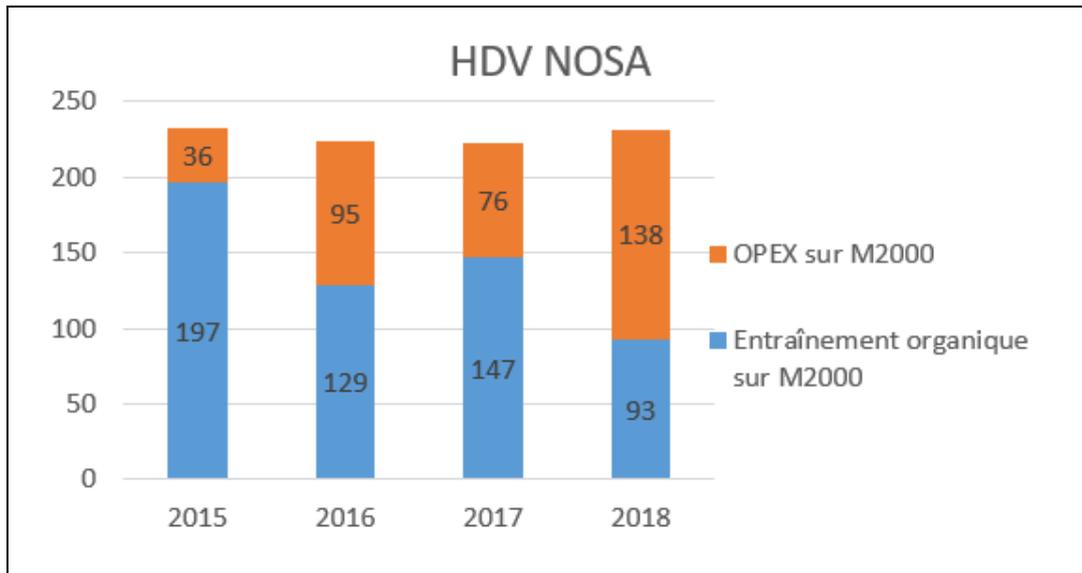


Figure 30 : heures de vol du NOSA

Le nombre d'heures de vol réalisé en missions d'entraînement organique par le navigateur est faible en 2018. Il limite le maintien des compétences acquises et l'acquisition de nouvelles compétences sur des bases solides. L'activité organique du pilote, faible en 2017, est correcte en 2018.

#### Manque d'entraînement de l'équipage aux missions de SDT

Il est demandé dans les consignes permanentes d'instruction du personnel navigant (CPIP) que des missions de SDT soient réalisées au moins une fois par mois pour les PCO afin de maintenir les compétences. Cela n'a pas été le cas pour le pilote.

En effet, depuis sa qualification aux missions de SDT (stage transformation SDT), obtenue en juillet 2017, le pilote n'a réalisé que 7 vols consacrés au SDT (AST 3 ou 4), dont deux en OPEX en Afrique. Sur ces 7 vols, un seul a été réalisé en hiver, en janvier 2018. Et il n'était pas exclusivement consacré au SDT. De plus, il a passé sa qualification aux missions de SDT en été, « dans des conditions climatiques clémentes (VMC) », comme indiqué dans son mémoire de fin de qualification.

L'irrégularité et le manque d'entraînement à cet exercice ne permettent pas d'assurer une consolidation des savoir-faire acquis lors de la qualification. Le manque de pratique du SDT par ce pilote avec des conditions météorologiques de vol aux instruments est certain.

En 2018, le NOSA a réalisé sept missions de SDT, dont 3 en métropole entre avril et juillet et quatre en opération extérieure en Afrique entre septembre et novembre. Le NOSA n'a donc pas fait de mission de SDT en hiver en 2018.

Par ailleurs, il est demandé dans les CPIPN, dans le cadre du maintien des compétences, que des missions de SDT soient réalisées une fois tous les deux mois pour les SCN. Si la quantité est bien respectée (7 missions en 12 mois), la régularité ne l'est pas. Le manque de régularité dans l'entraînement ne favorise pas la consolidation des savoir-faire acquis lors de la qualification.

Ce faible entraînement aux missions de SDT peut s'expliquer par le fait que ce type de mission ne fait plus partie du cœur de domaine d'emploi des Mirage 2000D.

Il fait d'ailleurs l'objet d'un suivi quantitatif mais non qualitatif<sup>29</sup> au sein de la 3<sup>e</sup> EC. Ce suivi quantitatif n'a pas pu être respecté pour l'équipage. Or, la qualité et la quantité d'entraînement sont des déterminants majeurs de l'élaboration d'une conscience de la situation en vol pour le personnel navigant.

**Le rythme et les conditions d'entraînement de l'équipage ne permettent pas d'assurer un maintien optimal des compétences pour les missions de SDT. Pour le personnel navigant qualifié mais peu entraîné, à l'instar de Coca 27, le risque d'acquiescer une conscience de la situation erronée lors de ce type de mission est alors plus élevé.**

#### **Entraînement au tir SCALP**

Le simulateur de vol utilisé par la 3<sup>e</sup> EC ne permet pas de simuler la passe de tir SCALP. Celle-ci doit se faire à l'entraîneur de vol, moins réaliste. L'absence de capacité de simulation réduit fortement les possibilités de mécanisation à ce type de mission. Cette limitation technique du simulateur, associée au manque d'entraînement en vol, est préjudiciable à l'acquisition et à l'entretien de compétences et à leur parfaite mécanisation.

C'est seulement lorsque la compétence devient pleinement automatisée par l'équipage qu'elle exige moins de ressources cognitives.

**L'absence de possibilité d'entraînement au simulateur à ce type de passe de tir diminue les possibilités de mécanisation des équipages.**

#### **Réponse organisationnelle**

Conscient de cette situation, les différents échelons du commandement local avaient rendu compte et formulé des propositions notamment pour faire des choix dans le large spectre des missions de la 3<sup>e</sup> EC, tel qu'il s'est mis en place depuis une quinzaine d'années. Un plan d'action M2000D a été établi par l'état-major de l'armée de l'air pour retrouver des conditions améliorant la formation des équipages. Publié en octobre 2018, il prévoit des mesures pour dégager des heures de vol au profit de l'entraînement organique des équipages de la 3<sup>e</sup> EC. Ce plan s'inscrit sur du moyen terme, avec des mesures correctives en cours de mise en œuvre au moment de l'évènement.

**Dans un contexte d'heures de vol contingentées, le déficit de missions d'entraînement organique des équipages de la 3<sup>e</sup> EC a abouti à des mesures regroupées au sein d'un plan d'action M2000D mis en œuvre fin 2018, peu de temps avant l'évènement.**

#### **Synthèse**

**La mission de SDT est une mission techniquement exigeante qui demande une pratique régulière. Or, avec un large spectre de missions, la 3<sup>e</sup> EC connaît un déficit d'entraînement organique lié à un engagement en OPEX important. Ainsi l'équipage de Coca 27, tout particulièrement le pilote, n'a pas pu consolider ses compétences en SDT, notamment par conditions météorologiques de vol aux instruments. Ce manque d'entraînement a pu contribuer à l'évènement.**

---

<sup>29</sup> Les CIPN n'exigent pas de distinction qualitative dans les missions SDT comme IMC/VMC ou jour/nuit.

### 2.3.2.3. Migration des pratiques<sup>30</sup>

La diminution progressive des heures de vol consacrées à l'entraînement organique, aggravée par une indisponibilité technique chronique et associée à un engagement en OPEX plus important, a conduit la 3<sup>e</sup> EC à rentabiliser au maximum les missions d'entraînement. Au début des années 2000, les équipages réalisaient une cinquantaine d'heures de vol de SDT par an dont certaines sans autre objectif que la pratique du SDT. Désormais, les équipages ne réalisent théoriquement qu'environ une dizaine de missions par an avec une densité supérieure : ajout d'un thème tactique, d'une ou plusieurs passes de tir, d'une ambiance de guerre électronique, etc. Le SDT n'est plus perçu comme le but de l'entraînement mais comme le simple prélude à un mode d'action opérationnel, qui requiert donc moins l'attention.

Cette situation est admise par les équipages et les différents échelons du commandement. Elle résulte d'une adaptation des unités navigantes face aux contraintes systémiques que sont le manque de disponibilité des aéronefs, le manque d'heures de vol des équipages et les ambitions opérationnelles, ajoutée à plus de 20 ans de pratique fiable de ce système.

Cette situation a pour conséquence d'entraîner une migration des pratiques (au-delà des limites initialement considérées comme sûres). Cette migration n'a pas été perçue comme une prise de risque car elle a été progressive et était sans incident majeur. Elle s'est normalisée au fil du temps : des faits qui constituaient initialement des signaux d'alerte n'ont pas été pris en compte (ainsi qu'a d'ailleurs pu le mettre en exergue une lettre du CEMAA en date de juillet 2018).

Les risques associés à ces pratiques ont été progressivement acceptés ou perdus de vue. Pour les jeunes équipages qui n'ont connu que cette situation, ces pratiques constituent la normalité de leur travail au quotidien. Elles ne sont pas perçues comme exceptionnelles mais comme routinières. Ils n'ont pas forcément le même niveau de conscience des risques que leurs aînés.

Ce phénomène est renforcé par une perte de mémoire de l'évolution des pratiques au sein de la 3<sup>e</sup> EC (manque d'officiers sous contrat (OSC) expérimentés, baisse des activités de cohésion, fort engagement en OPEX).

Dans ce contexte, la mission attribuée à l'équipage de Coca 27 le 9 janvier 2019 était considérée comme simple car sans thème tactique. Pourtant, la mission était techniquement exigeante et l'entraînement de l'équipage pour la réaliser irrégulier et insuffisant.

**Le besoin de rentabiliser les missions d'entraînement a conduit à une migration des pratiques. Ce phénomène est à l'origine d'une sous-évaluation du risque des missions d'entraînement au SDT et a pu contribuer à l'évènement.**

---

<sup>30</sup> Migration des pratiques : modèle (Amalberti et al., 2006) qui décrit comment dans un environnement dynamique et à risque, l'évolution progressive des pratiques génère des comportements d'écarts aux règles de sécurité. Le modèle décrit les trois phases successives du processus dynamique de migration jusqu'à un accident. Pour l'auteur, cette migration des pratiques est ordinaire dans tous les systèmes dynamiques qui évoluent continuellement.

#### 2.3.2.4. Conséquence de la sous-évaluation du risque

##### Supervision

###### *Limitation de la procédure SDT*

Lors de la mise en service du Mirage 2000D, la hauteur de consigne limite d'utilisation du SDT en phase d'attaque en pilotage en mode TBA était fixée par l'armée de l'air à une hauteur minimale de 500 pieds, et à 300 pieds en mode automatique. Cette limitation était cohérente avec une mission considérée comme exigeante, non tolérante à l'erreur et nécessitant un entraînement régulier. Cette limitation a été par la suite abaissée à une hauteur de 300 pieds pour tous les modes. Or, en même temps, le niveau d'entraînement a diminué, amenant les équipages à devoir être encore plus vigilants pendant ces phases de vol, ce qui accroît leur charge cognitive pour maintenir un même niveau de sécurité.

**La baisse de technicité des pilotes de la 3e EC, liée au manque d'entraînement, accroît la charge cognitive des équipages pour assurer le même niveau de sécurité en SDT que par le passé, notamment aux hauteurs les plus basses et en conditions météorologiques de vol aux instruments.**

###### *Encadrement de la mission*

La mission étant considérée comme simple, tous les modes de SDT et une hauteur de vol de 300 pieds ont été autorisés. L'objectif était de laisser le choix à l'équipage, conformément au principe de subsidiarité<sup>31</sup> adapté à la qualification de chaque équipage.

Cependant, les équipages en progression ont tendance à vouloir s'entraîner aux limites, notamment pour acquérir le plus rapidement possible les compétences. Pour cela, leur plan d'action lors des missions d'entraînement correspond généralement au pilotage le plus exigeant.

Or, dans les conditions actuelles (entraînement limité et irrégulier, absence de vol de mûrissement), les équipages peuvent ne pas toujours acquérir le recul nécessaire pour évaluer leur niveau de maîtrise.

**L'absence de limitation des modes SDT a indirectement incité l'équipage à réaliser sa mission d'entraînement dans les conditions de technicité les plus exigeantes.**

###### *Choix de la mission de refamiliarisation*

Il s'agit d'un vol de refamiliarisation pour cet équipage après une phase irrégulière de vols dans cette mission, tout particulièrement pour le pilote qui est qualifié depuis un an et demi et qui ne l'a réalisée que 7 fois depuis et potentiellement jamais dans de telles conditions météorologiques. De plus, seul le pilote a volé en métropole, la veille, depuis leur départ en OPEX (août 2018 pour le navigateur et octobre 2018 pour le pilote).

Ainsi, l'équipage est qualifié pour cette mission, mais son entraînement récent en SDT et en conditions météorologiques de vol aux instruments est faible. Si la mission est jugée simple compte tenu de l'absence de thème tactique, elle reste techniquement exigeante car elle demande la mobilisation de ressources cognitives importantes.

<sup>31</sup> Principe consistant à transmettre à un autre échelon hiérarchique le choix ou la responsabilité d'une action. Ici, la subsidiarité est descendante, vers l'échelon de l'équipage.

Dans sa forme, avec la latitude laissée à l'équipage d'utiliser tous les modes et les hauteurs de vol autorisés dans ce cadre, elle peut présenter, pour une mission de refamiliarisation, une difficulté certaine. Le bien-fondé de la pleine subsidiarité des choix laissés à un équipage dans une phase de vol suivant un retour d'OPEX mérite d'être reconsidéré.

**Les caractéristiques de cette mission, par la charge cognitive qu'elle demande, peuvent être exigeantes pour un vol de refamiliarisation en métropole, dans le cadre d'un programme dit « de reprise ». Cette exigence est difficile à appréhender pour l'équipage qualifié comme pour l'encadrement local. Une adaptation du principe de subsidiarité mérite d'être envisagée au cas par cas lors des périodes de retour d'OPEX.**

### **Choix du plan d'action par l'équipage**

Les paramètres de vol recueillis grâce aux radars semblent bien indiquer que l'équipage avait la volonté de réaliser la mission dans les conditions les plus exigeantes (mode auto radar et TBA avec une hauteur de consigne de 300 pieds).

Les conditions météorologiques de vol aux instruments n'ont pas été perçues comme un facteur de risque pour l'équipage. Il est probable que celui-ci ait considéré que le risque lié à la perte de références visuelles extérieures était maîtrisé par le système. En outre, leur présence dans le réseau RTBA a pu renforcer ce sentiment de protection car, à l'intérieur de ce réseau, le risque de conflit avec un autre aéronef est théoriquement nul.

De plus, tous deux ont été très bien évalués durant leur OPEX, ce qui renforce leur confiance.

Enfin, avant ce vol de reprise, le pilote et le NOSA ont profité d'un créneau au simulateur qu'ils avaient en commun le lundi pour retravailler le SDT, et ainsi être prêts pour la mission du mercredi. Cette séance de simulation s'est bien passée.

Ainsi, le choix d'exécuter le plan d'action comportant les risques les plus élevés découle d'une sous-évaluation du niveau de risque liée à :

- un excès de confiance envers les automatismes du système ;
- l'environnement protecteur du RTBA ;
- l'appréciation de l'équipage vis-à-vis de ses propres compétences.

Pensant maîtriser les différents aspects de sa mission, l'équipage n'a pas eu le sentiment de prendre un risque.

**La sous-évaluation du risque par l'équipage l'a conduit à choisir le plan d'action le plus exigeant pour réaliser cette mission.**

### **Synthèse**

**La technicité de la mission de refamiliarisation a été jugée par rapport à son niveau tactique et non par rapport à son niveau d'exigence du pilotage et du travail en équipage qui requiert de nombreuses ressources cognitives.**

**La sous-évaluation du risque à l'origine de la latitude des choix laissée à l'équipage et de l'excès de confiance de celui-ci a pu contribuer à l'évènement.**

### 2.3.2.5. Absence de renoncement de l'équipage

Malgré le manque d'entraînement de l'équipage aux missions de SDT en vol aux instruments et malgré la survenue d'un premier dégagement peu de temps avant la passe de tir, l'équipage n'a pas remis en question son plan d'action initial. À l'inverse, l'équipage expérimenté de Coca 26 a renoncé à son plan d'action initial et est passé en mode fichier après avoir effectué un mauvais réglage de la « SelH ».

L'équipage de Coca 27 a été confronté à deux enjeux simultanés :

- la réussite de la passe de tir SCALP en SDT à une hauteur de consigne de 300 pieds qui constituait l'objectif opérationnel de la mission ;
- le maintien d'un niveau de sécurité qu'il estimait adapté à sa compétence.

Face à ces deux enjeux, l'équipage a tâché d'adopter un compromis, lequel a pu être influencé par trois facteurs :

#### **Pression liée au manque d'entraînement**

Afin de rentabiliser les missions dans le contexte d'un nombre d'heures de vol contraint, les équipages s'entraînent généralement au maximum de leur savoir et de ce qui est autorisé, dans le but d'acquérir et de maîtriser au plus tôt tout le domaine de vol. Cette culture est partagée par tous au sein de l'escadre. Le risque est que les équipages encore peu expérimentés ne soient pas en mesure d'évaluer les limites de leur propre compétence.

#### **Pression liée au jugement d'autrui**

Le pilote de Coca 26 est un instructeur qui a participé aux qualifications des deux membres d'équipage de Coca 27 et qui doit continuer à y participer dans le futur. La perspective peu acceptable d'un renoncement devant le pilote de Coca 26 qui a effectué la même mission cinq minutes devant Coca 27, et a ainsi démontré la faisabilité de cette mission, a pu conduire l'équipage de Coca 27 à poursuivre la mission.

#### **Pression liée à la motivation personnelle**

L'équipage est particulièrement motivé pour réussir cette mission. Le lundi, lors d'une séance de simulation prévue initialement pour le travail sur les procédures de pannes, il a demandé à réaliser du SDT afin de se préparer à la réussite de cette mission. Par ailleurs, les deux membres de l'équipage reviennent tous deux d'une opération extérieure pendant laquelle ils ont été très bien notés. C'est leur premier vol en commun depuis leur retour, ce qui peut conduire à un excès de motivation pour réussir cette mission comme ils ont réussi leur OPEX. Or, plus le niveau d'engagement des individus dans la poursuite d'un objectif est élevé, plus il leur est difficile de renoncer à cet objectif.

**La volonté de s'entraîner aux situations les plus difficiles, la perspective du jugement d'un instructeur expérimenté et sa motivation personnelle à réussir ont conduit l'équipage à ne pas remettre en question son plan d'action initial malgré l'augmentation de l'exigence.**

### 3. CONCLUSION

L'évènement est un *controlled flight into terrain* (CFIT) ou collision avec le sol en vol contrôlé. Ce type d'accident caractérise les évènements pour lesquels l'équipage contrôle l'aéronef (qui ne sort pas de son domaine de vol) mais possède une représentation erronée de sa trajectoire dans le plan vertical et/ou horizontal, entraînant la collision avec le sol.

Cet évènement, provoqué par une procédure de dégagement non finalisée, ne remet en cause ni la fiabilité de l'appareil et de son système de suivi de terrain, ni le niveau de qualification de l'équipage requis pour réaliser la mission.

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

Un équipage composé d'un PCO et d'un SCN réalise un vol d'AST 4 dans le RTBA. Au cours de ce vol, une simulation de passe de tir SCALP est programmée. Un autre aéronef réalise la même mission cinq minutes avant eux mais de façon indépendante. Le plafond et la visibilité sont réduits, le vol en TBA est réalisé en limite de couche nuageuse, majoritairement en IMC.

Après 10 minutes de vol dans le RTBA, l'aéronef percute le sol à grande vitesse. L'enregistreur de vol est retrouvé détruit tandis que la cassette Hi8 enregistrant la VTH n'est pas été retrouvée.

L'expertise radar, confirmée par une reconstitution au simulateur de DGA EV, a permis de retracer l'intégralité du vol. L'analyse montre que 3 minutes avant l'évènement, Coca 27 subit un dégagement en automatique. Il reprend le vol en TBA rapidement afin d'être en mesure de réaliser la passe de tir SCALP et ainsi rentabiliser la mission d'entraînement. Cette reprise de SDT intervient 1 minute et 20 secondes avant le lieu prévu pour la passe de tir. L'équipage aborde ainsi cette manœuvre avec une pression temporelle importante et une forte charge cognitive. Au PLA, il vire à droite pour effectuer l'évasive et repasse en mode auto radar.

C'est à ce moment que l'équipage subit un second dégagement. Durant cette manœuvre, il vire à droite pour rester dans le RTBA mais il ne stabilise pas à l'altitude de sécurité et poursuit son vol, avec un fort piquer, jusqu'au sol. La prise de conscience trop tardive de cette position inusuelle ne lui a permis ni d'effectuer une sortie de piquer ni de s'éjecter.

#### 3.2. Causes de l'évènement

La cause la plus probable de l'absence de stabilisation à l'altitude de sécurité est une désorientation spatiale non reconnue de l'équipage. Elle peut être expliquée par :

- une illusion perceptive ;
- une conscience erronée de la situation ;
- une éventuelle absence ponctuelle de surveillance du navigateur ou une inefficacité à avertir le pilote (temps trop court, surdité inattentionnelle ou incompréhension du pilote).

Néanmoins, compte tenu de la destruction des enregistreurs de vol et de l'absence d'éléments probants issus des expertises, d'autres scénarios ne peuvent être exclus.

D'autres causes ont également été identifiées et ont contribué à l'évènement :

- un manque d'entraînement organique au sein de la 3<sup>e</sup> EC ;
- un manque d'entraînement de l'équipage à la mission de SDT ;
- une impossibilité de simuler la passe de tir SCALP au simulateur de vol ;
- un plan d'action Mirage 2000D qui n'a pas eu le temps de produire ses effets.

Ce manque d'entraînement a conduit à une recherche d'optimisation à chaque vol. Les entraînements sont devenus, au fil des années, systématiquement denses au niveau tactique. Cette densité est devenue la norme pour les équipages qui n'ont connu que cette situation. Le SDT n'est *de facto* aujourd'hui plus perçu comme le but de l'entraînement mais comme le simple prélude à un mode d'action opérationnel, qui requiert donc moins l'attention. La mission du jour de l'accident n'était toutefois pas tactiquement dense mais techniquement et cognitivement exigeante.

Cette migration des pratiques a conduit à une sous-estimation des risques liés à ce type de mission. Cette mission a été proposée à dessein en vol de refamiliarisation, en lien avec sa technicité particulière et l'entraînement irrégulier de l'équipage, dans un contexte de subsidiarité qui n'est pas forcément adapté à une phase de retour d'OPEX.

Dans ce cadre, l'équipage n'a probablement pas été en mesure de renoncer à son projet d'action initial pendant le vol malgré un premier dégagement peu de temps avant la passe de tir, sous l'effet d'une triple pression liée :

- à la nécessité d'optimiser l'entraînement ;
- à la crainte du jugement d'un autre pilote expérimenté ;
- à une forte motivation personnelle.

## 4. RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

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

#### 4.1.1. Déficit d'entraînement organique

La 3<sup>e</sup> EC connaît un déficit d'entraînement organique depuis plusieurs années alors que le spectre des missions s'est élargi depuis la mise en service du Mirage 2000D et que l'engagement en opérations s'est intensifié. Ce déficit est préjudiciable à l'acquisition et à la consolidation des compétences.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de l'air de renforcer l'entraînement organique de la 3<sup>e</sup> EC et son suivi.**

**R1 – [A-2019-01-A]**

#### 4.1.2. Entraînement aux missions de SDT

La mission de SDT est une mission techniquement exigeante. L'irrégularité et l'optimisation de l'entraînement au SDT, ajoutées à la confiance acquise dans le système, est à l'origine d'une migration des pratiques ayant conduit à une sous-évaluation du risque. Celui-ci est évalué par rapport à la densité tactique et non plus par rapport au niveau de technicité, à la charge cognitive requise et au risque conjoncturel inhérent à chaque situation d'entraînement (régularité, volume, progressivité). Les missions d'entraînement sans thème tactique sont alors jugées simples et compatibles avec toute mission de refamiliarisation.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de l'air de réévaluer le niveau de risque que représentent certaines missions d'entraînement.**

**R2 – [A-2019-01-A]**

#### 4.1.3. Suivi personnalisé de l'entraînement

L'entraînement au SDT fait l'objet d'un suivi quantitatif mais non qualitatif. Pour cette compétence comme éventuellement pour d'autres compétences à examiner, une amélioration du suivi individuel des niveaux d'entraînement des pilotes et des NOSA doit être envisagée pour faciliter, au-delà de la connaissance humaine, le travail du commandement de proximité. La phase de retour d'OPEX doit en particulier être considérée spécifiquement lors de la refamiliarisation de chaque PN à tous les types d'entraînement organique.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de l'air d'améliorer le suivi personnalisé de l'entraînement au SDT, comme celui d'éventuelles autres compétences qu'elle jugera fondamentales, afin de permettre au commandement d'adapter la complexité et/ou la technicité des missions aux progressions individuelles, en particulier en phase de retour d'OPEX.**

**R3 – [A-2019-01-A]**

#### 4.1.4. Entraînement au simulateur ou à l'entraîneur de vol

Les deux membres d'équipage n'avaient que peu ou pas volé depuis leur retour d'opération extérieure. À leur demande, ils ont effectué une révision des procédures de SDT à l'occasion d'une séance d'entraînement aux procédures d'urgence au simulateur. Cet entraînement n'est plus obligatoire mais sa réalisation est significative du besoin ressenti par l'équipage de bénéficier d'une telle séquence.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de l'air d'étudier la pertinence d'imposer à nouveau avant vol la réalisation d'une mission de SDT au simulateur ou à l'entraîneur de vol pour les membres d'équipage n'ayant pas effectué ce type de mission depuis une durée à définir.**

**R4 – [A-2019-01-A]**

#### 4.1.5. Rénovation du simulateur

Le simulateur de vol actuellement utilisé par la 3<sup>e</sup> EC ne permet pas de simuler l'intégralité des missions. Ceci est préjudiciable à l'acquisition et au renforcement des compétences des équipages. Ce simulateur est en cours de rénovation.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de l'air de poursuivre la rénovation du simulateur et de s'assurer de la possibilité d'y simuler toutes les missions.**

**R5 – [A-2019-01-A]**

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

### 4.2.1. Renforcement de l'enregistreur de vol

L'enregistreur des paramètres de vol du Mirage 2000D est régulièrement mis en défaut lors de collision avec le sol à forte énergie. Or, la récupération des informations est essentielle à la compréhension de l'évènement et la raison d'être d'un enregistreur de vol est de les conserver en dépit d'un éventuel accident.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de l'air, en liaison avec Thalès, d'étudier la possibilité d'équiper les Mirage 2000D d'un enregistreur de vol renforcé.**

**R6 – [A-2019-01-A]**

#### 4.2.2. Dialogue entre les équipes SAR et SATER

Le débriefing de l'opération SAR réalisée par le CCS montre qu'il y a eu un manque de coordination entre les équipes menant l'opération SAR et celles menant l'opération SATER.

En conséquence, le BEA-É recommande :

**à l'armée de l'air, d'étudier le moyen d'assurer une coordination efficace entre le CCS et les équipes au sol lors des opérations de SAR.**

**R7 – [A-2019-01-A]**

## ANNEXE ILLUSIONS PERCEPTIVES

Extrait du rapport de l'IRBA

Les conditions météorologiques laissent penser que la visibilité était réduite lors du vol. Ces conditions associées aux stimulations vestibulaires accompagnant une trajectoire telle que celle observée lors du vol de reconstitution sont propices à l'apparition d'illusions sensorielles d'origine vestibulaire. L'appareil vestibulaire, situé dans l'oreille interne, est un détecteur de mouvements et d'accélération de la tête. Les informations qu'il code aident l'être humain à déterminer sa position et son orientation dans l'espace. Or, si cet appareil vestibulaire est adapté lorsqu'on se déplace à la surface de la Terre, il n'est pas adapté aux conditions particulières du vol.

1. Lors de la deuxième évolution verticale non planifiée, le virage en montée met le pilote dans des conditions favorables à l'apparition d'une illusion de Coriolis. L'illusion de Coriolis apparaît lorsqu'un pilote exécute un mouvement de tête dans un autre plan que le plan de rotation de son aéronef (pour porter son attention sur des instruments par exemple). Les canaux semi-circulaires de son appareil vestibulaire ne sont pas adaptés pour coder de manière appropriée ces événements. En conséquence, la résultante de ces mouvements se traduit par une sensation erronée de culbute soudaine et puissante. Si l'aéronef évolue à grande vitesse, comme c'est le cas ici, même un tout petit mouvement de la tête peut mener à l'apparition de l'illusion. Le pilote perçoit alors un mouvement de l'aéronef qui n'a pas réellement lieu. Cela peut entraîner une confusion et la mise en place de manœuvres non adaptées à la position et au mouvement réels de l'aéronef.

2. De plus, lors de cette deuxième évolution verticale non planifiée, l'avion suit une trajectoire courbe en accélérant. Ce type de trajectoire peut mener à l'apparition d'une illusion somato-gravique d'inversion. En effet, dans ces conditions, les organes otolithiques de l'appareil vestibulaire détectent la résultante des forces d'inertie, centrifuge et de pesanteur comme orientée vers le haut et en arrière. Cela donne l'illusion au pilote de se retrouver en position inversée avec la tête en bas. En général, la réaction à cette perception erronée est de baisser le nez de l'aéronef de manière inappropriée, ce qui mène à la perte de contrôle de la machine.