



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 11 décembre 2008

RAPPORT PUBLIC D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-A-2007-023-A

Date de l'événement	06 décembre 2007
Lieu	Commune de Neuvic (Corrèze - 19)
Type d'appareil	Rafale B
Immatriculation	F-UHHL
Organisme	Armée de l'air – Commandement des forces aériennes
Unité	Escadron de chasse 1/7 Provence

AVERTISSEMENT

COMPOSITION DU RAPPORT

Les faits, utiles à la compréhension de l'événement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'analyse des causes possibles de l'événement fait l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes certaines ou possibles. Enfin, dans le dernier chapitre, des propositions en matière de prévention sont présentées. Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heures locales.

UTILISATION DU RAPPORT

L'objectif du rapport d'enquête technique est d'identifier les causes de l'événement et de formuler des recommandations de sécurité. En conséquence, l'utilisation de la deuxième partie de ce rapport et des suivantes à d'autres fins que celle de la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

CREDITS PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page 1 (couverture) : SIRPA air.
Page 18 : BEAD-air.

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	2
TABLE DES MATIERES	3
TABLE DES ILLUSTRATIONS	5
GLOSSAIRE	6
SYNOPSIS	7
1. Renseignements de base	8
1.1. Déroulement du vol	8
1.1.1. Mission	8
1.1.2. Contexte de la mission	8
1.1.3. Préparation du vol	8
1.1.4. Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'événement	8
1.1.5. Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol	9
1.1.6. Localisation	10
1.2. Tués et blessés	11
1.3. Dommages à l'aéronef	11
1.4. Autres dommages	11
1.5. Renseignements sur le personnel	11
1.5.1. Membres d'équipage de conduite	11
1.6. Renseignements sur l'aéronef	12
1.6.1. Maintenance	12
1.6.2. Performances	12
1.6.3. Masse et centrage	12
1.6.4. Carburant	13
1.7. Conditions météorologiques présumées	13
1.8. Télécommunications	13
1.9. Enregistreurs de bord	14
1.10. Renseignements sur l'épave et sur l'impact	14
1.10.1. Examen de la zone	14
1.10.2. Examen de l'épave	15
1.11. Renseignements médicaux et pathologiques concernant le pilote	15
1.12. Survie du pilote	16
1.12.1. Abandon de bord	16
1.12.2. Organisation des secours	16
1.13. Renseignements supplémentaires	17
2. Analyse	18
2.1. Exploitation des enregistrements	18
2.1.1. Mémoires du BSDM	18
2.1.2. Communications radio enregistrées par le CDC de Mont-de-Marsan	18
2.1.3. Exploitation des paramètres de l'enregistreur de vol	19
2.2. Recherche des causes de la collision avec le sol	20
2.2.1. Hypothèses relevant du domaine environnemental	20
2.2.2. Hypothèse relative à la manœuvrabilité de l'avion	20
2.2.3. Hypothèse relevant du facteur humain	20
2.3. Recherche des causes de la désorientation spatiale	23
2.3.1. Facteurs relevant du pilote	23
2.3.2. Facteurs relevant de l'avion	25
2.3.3. Facteurs relevant de l'emploi	27
3. Conclusion	29
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement	29
3.2. Causes de l'événement	29
3.2.1. Causes de la perte de référence d'attitude	29
3.2.2. Récupération tardive de référence d'attitude	29
4. Recommandations de sécurité	30
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	30
4.1.1. Entraînement	30
4.1.2. Pilotage et missions	30
4.1.3. Instrumentation Permanente de Secours au pilotage (IPS)	31
4.1.4. Utilisation du pilote automatique et des dispositifs d'alerte de sécurité relative au sol	31

4.1.5. Moyen de sauvegarde	32
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	32
4.2.1. Enregistrements	32
4.2.2. Recueil d'expériences	32
ANNEXES	33
1. Attitude de l'avion au cours de la phase finale du vol	35
2. Chronologie des actions du pilote	36

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Cartes :

Trajectoire finale du vol _____	10
Zone de l'épave, les débris les plus massifs sont concentrés sur l'axe de la trajectoire de l'avion.	14

Photographies :

Zone de l'impact avec le sol _____	15
Planche de bord du Rafale _____	26

Graphique :

Synchronisation des ordres appliqués aux commandes avec le comportement de l'avion _____	22
--	----

GLOSSAIRE

- BEAD-air : bureau enquêtes accidents défense air.
- BSDM : boîtier de stockage de données de mission.
- CDC : centre de contrôle et de détection.
- IPS : instrumentation permanente de secours au pilotage.
- RCC : *research and coordination center* - centre de coordination et de sauvetage.

SYNOPSIS

Date de l'événement : 6 décembre 2007 à 17 h 24.
Lieu de l'événement : commune de Neuvic (Corrèze).
Organisme : armée de l'air.
Commandement organique : commandement des forces aériennes.
Unité : escadron de chasse 1/7 Provence.
Aéronef : Rafale B n° 316.
Nature du vol : mission d'entraînement au combat air/air.
Nombre de personnes à bord : une.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

L'avion de l'équipier d'une patrouille légère de Rafale impacte le sol au cours d'une mission d'entraînement au combat air/air.

Composition du groupe d'enquête technique

- Un enquêteur technique du Bureau enquêtes accidents défense air, nommé directeur d'enquête.
- Un enquêteur adjoint.
- Un officier pilote ayant une expertise sur Rafale.
- Deux officiers mécaniciens ayant une expertise sur Rafale.
- Un officier parachutiste d'essai.
- Un mécanicien ayant une expertise sur le siège éjectable équipant le Rafale.
- Un médecin du personnel navigant.

Autres experts consultés

- Centre de restitution d'enregistrements d'accidents (RESEDA).
- Thalès.
- Dassault Aviation.
- Institut de médecine aéronautique du service de santé des armées (IMASSA).
- Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA).
- Centre de simulation du Centre d'essais en vol (base d'Istres).

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air a été prévenu téléphoniquement par le centre de détection et de contrôle (CDC) de Mont-de-Marsan le 6 décembre vers 19 h 00. Le groupe d'enquête technique a été formé immédiatement.

Le lendemain matin, ce groupe d'enquête s'est scindé en deux équipes : l'une conduite par le directeur d'enquête a rejoint le site de l'accident sur le site à Neuvic, l'autre dirigée par l'enquêteur adjoint s'est rendue sur la base aérienne de Saint-Dizier.

Enquête judiciaire

Le Parquet de Tulle s'est saisi de l'affaire, un juge d'instruction a été désigné. Un officier de police judiciaire de la section judiciaire de Paris a été commis.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Indicatif mission	Rasoir fox
Type de vol	CAM A ¹
Type de mission	<i>Sweep 2</i>
Dernier point de départ	Base aérienne 113 – Saint-Dizier
Heure de départ	16h26
Point d'atterrissage prévu	Base aérienne 113 – Saint-Dizier

1.1.2. Contexte de la mission

Deux patrouilles légères de RAFALE accomplissent une mission d'entraînement de nuit au combat de type *sweep 2 versus cap 2*² dans un volume aérien identifié. Le plancher de combat est défini au niveau 120. La patrouille Rasoir fox attaque, la patrouille Rasoir golf défend. La patrouille Rasoir fox réalise une mission d'instruction pédagogique au profit de l'équipier de la patrouille défensive. Cette mission consiste à effectuer des présentations en flot continu face à la menace.

1.1.3. Préparation du vol

Un briefing commun aux deux patrouilles a lieu vers 15 h 00. Il fixe les conventions du jour et est suivi d'un briefing particulier propre à chaque patrouille. Celui qui concerne la patrouille des Rasoir fox est réalisé par son leader.

Ce dernier met l'accent sur le respect des *block*³, le respect des scénarios et la prévention du *G-LOC*⁴.

L'équipier de la patrouille Rasoir fox a effectué le matin une mission semblable à la mission préparée l'après-midi, de jour dans la même zone. Les prévisions météorologiques concernant le vol du soir sont voisines de celles rencontrées le matin. Elles prévoient toutefois une densité de nuages plus élevée.

1.1.4. Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'événement

L'avion affecté à l'équipier est un biplace équipé de deux réservoirs pendulaires largables RPL 741/742 aux points d'emport n° 1 et de lance-bombes triples vides aux points d'emport n° 2.

¹ Vol ou phase de vol contrôlé pour lequel l'organisme du contrôle de la circulation aérienne, chargé de fournir les services de la circulation aérienne militaire, est responsable de la conduite de la mission, et où le pilote reste responsable de la conduite de l'aéronef.

² Mission de défense aérienne au-delà de la portée visuelle opposant une patrouille de deux avions en mission offensive de prise de supériorité aérienne dans une zone définie, à une patrouille de deux avions en mission défensive.

³ *Block* : tranche d'altitude définie dans le but de prévenir les collisions entre les patrouilles.

⁴ *G-LOC* (*G-induced loss of consciousness*) : perte de conscience induite par le facteur de charge.

Lors de la mise en route en commun, les avions sont rassemblés sur le parking. Aucune anomalie n'est relevée lors de la mise en route de l'avion tant par le leader et les pilotes de la patrouille Rasoir golf, que par le personnel de piste. Le trajet vers la zone de travail est réalisé en COM B⁵.

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

L'activité dans la zone de travail débute à 17 h 05 sous le contrôle du CDC de Mont-de-Marsan. Les présentations s'enchaînent selon les scénarios prédéfinis lors du briefing.

A 17 h 20, les avions de la patrouille des Rasoir Fox occupent la même position géographique mais avec un étagement vertical. L'altitude de l'avion du leader est de 29 000 pieds. L'avion de l'équipier se situe entre 12 000 et 14 000 pieds.

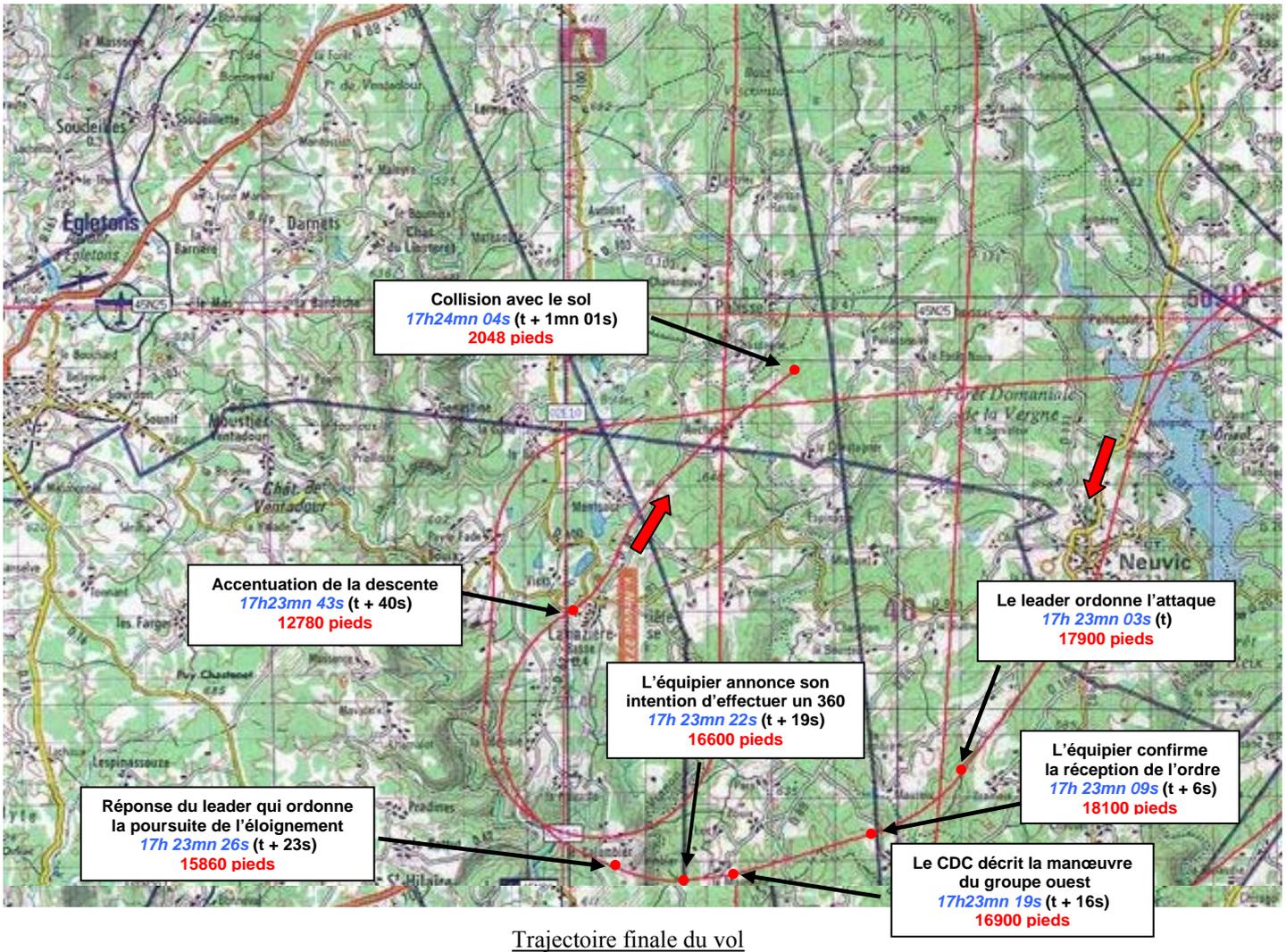
A 17 h 23, dans le but d'effectuer un tir fictif de missile sur un avion de la patrouille des Rasoir golf, l'équipier au cap 220° monte jusqu'à l'altitude de 17 000 pieds afin d'augmenter la portée de l'arme. Le tir réalisé, il effectue une manœuvre d'*abort*⁶ en virage droite et en descente vers 12 000 pieds, sous un facteur de charge variable supérieur à 4 G.

Au cours de ce virage, le pilote reçoit de la part du leader l'ordre d'engager un avion de la patrouille des Rasoir golf. La manœuvre d'*abort* étant déjà entreprise depuis quelques secondes, il annonce son intention de continuer le virage par la droite sur 360° afin de se représenter face à la patrouille des défenseurs. Le leader modifie son ordre et lui demande de rester dos à la menace.

L'équipier arrête alors son virage au cap 053. Au cours de cette manœuvre, l'avion accentue sa descente et impacte le sol une vingtaine de secondes plus tard.

⁵ COM B : vol ou phase de vol contrôlé pour lequel l'organisme de contrôle de la circulation aérienne connaît en permanence la position des aéronefs dans le but de fournir des espacements.

⁶ *Abort* : manœuvre d'abandon de l'action en cours.



1.1.6. Localisation

Lieu :

- pays : France ;
- département : Corrèze ;
- commune : Neuvic ;
- coordonnées géographiques : N 45° 24'32,3'' - E 002° 12' 47,2'' ;
- altitude : 642 mètres ;

Moment : nuit.

1.2. Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Autres personnes
Mortelles	1	
Graves		
Légères / Aucunes		

1.3. Dommages à l'aéronef

	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
Aéronef		X		

1.4. Autres dommages

L'avion a sectionné des arbres sur les quinze derniers mètres de sa trajectoire. Un cratère a été formé au lieu de l'impact. Des fragments de l'avion ont été dispersés dans la zone de l'épave.

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1. Commandant de bord

- Age : 34 ans ;
- Sexe : masculin ;
- Unité d'affectation : escadron de chasse 1/7 Provence :
 - fonction dans l'unité : cellule exercices et manœuvres.
- Formation :
 - qualification : chef de patrouille ;
 - école de spécialisation : école de chasse de Tours, puis école de transition opérationnelle de Cazaux ;
 - année de sortie d'école : 1998.
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont sur Rafale	Sur tous types	Dont sur Rafale	Sur tous types	Dont sur Rafale
Total	1720h	114h10	25h00	25h00	6h45	6h45
Dont nuit	220h	5h35	00h50	00h50	00h50	00h50

- Date du dernier vol comme pilote :
 - sur l'aéronef :
 - de jour : 6 décembre 2007 ;
 - de nuit : 5 décembre 2007.
- Carte de circulation aérienne :
 - type : verte ;
 - date d'expiration : 22 février 2008.

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de l'air.
- Commandement organique d'appartenance : commandement des forces aériennes.
- Base aérienne de stationnement : 116 – Saint-Dizier.
- Unité d'affectation : escadron de chasse 1/7 Provence.
- Type d'aéronef : Rafale B
 - configuration :
 - points d'emport n°1 : pylône et réservoir pendulaire 2000 litres ;
 - points d'emport n°2 : pylône universel, tripode et adaptateur ;
 - armement : sans ;
 - caractéristiques :

	Type - série	Numéro	Heures de vol
Cellule	Rafale RA1B200 biplace 000316	ARG033	319,87
Moteur droit	M88 étape 4	WM000132	210,42
Moteur gauche	M88 étape 4	WM000130	314,41

1.6.1. Maintenance

L'examen de la documentation technique témoigne d'un entretien conforme au programme de maintenance en vigueur.

1.6.2. Performances

La configuration de l'appareil pour ce vol avait pour conséquence :

- l'application de la consigne relative à la vitesse prévoyant de ne pas dépasser 0,9 Mach ;
- le système de gestion des commandes de vol limitait le facteur de charge à 5,5 G par la butée élastique de la commande de profondeur, et à 6,5 G par la butée mécanique de cette même commande.

1.6.3. Masse et centrage

Lors de l'événement, la masse de l'avion était de 13,8 t.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F34.
- Masse de carburant au décollage : 5 900 kg.
- Masse de carburant restant au moment de l'événement : 3 000 kg.
- Autres fluides :
 - liquide hydraulique : quantité estimée à 30 litres ;
 - huile moteur : quantité estimée à 30 litres ;
 - liquide de refroidissement de type coolanol : quantité estimée à 10 litres.

1.7. Conditions météorologiques présumées

Les conditions concernant la région d'Egletons au moment de l'événement ont été extrapolées le 7 décembre 2007 par le centre de Météo France de Mérignac (33) :

- situation générale : flux de sud-ouest humide et rapide en surface, flux de nord-ouest rapide en altitude ;
- nuages (hauteur par rapport au sol) :
 - 5 à 7/8 de stratus de 500 à 1 000 pieds ;
 - 6 à 8/8 de stratocumulus de 3 000 à 4 000 pieds ;
 - 5 à 7/8 d'altocumulus de 12 000 à 16 000 pieds ;
 - 5 à 7/8 de cirrus à 23 000 pieds.
- pluie ou bruines faibles.
- visibilité inférieure à 5 000 m.
- vent :
 - au sol : 240° pour 5 à 10 kt, pouvant atteindre 15 à 20 kt ;
 - à 4000 m : 320° pour 40 kt.
- température :
 - au sol : 9°C ;
 - à 4000 m : -7°C.
- turbulence faible à modérée.
- altitude de l'iso 0°C : 2 900 m.
- givrage modéré possible vers 4 000 m.

1.8. Télécommunications

Les avions et CDC étaient en communication :

- radio, sur une fréquence UHF⁷ ;
- par le moyen de la Liaison 16⁸.

⁷ UHF : *Ultra High Frequency* – désigne une gamme de fréquence de radiocommunication comprise entre 300 Mhz et 3 Ghz (limitée à 400 Mhz pour les liaisons militaires).

⁸ La Liaison 16 est un standard de liaison de donnée de l'OTAN fonctionnant en réseau pour la transmission et la réception sans-fil d'informations tactiques entre des unités militaires aériennes, terrestres et maritimes. Les acteurs peuvent échanger leurs positions et partager leurs détections radar. Les centres de contrôle peuvent envoyer des missions à un chasseur sans avoir à communiquer de façon vocale par radio avec celui-ci.

1.9. Enregistreurs de bord

L'avion était équipé :

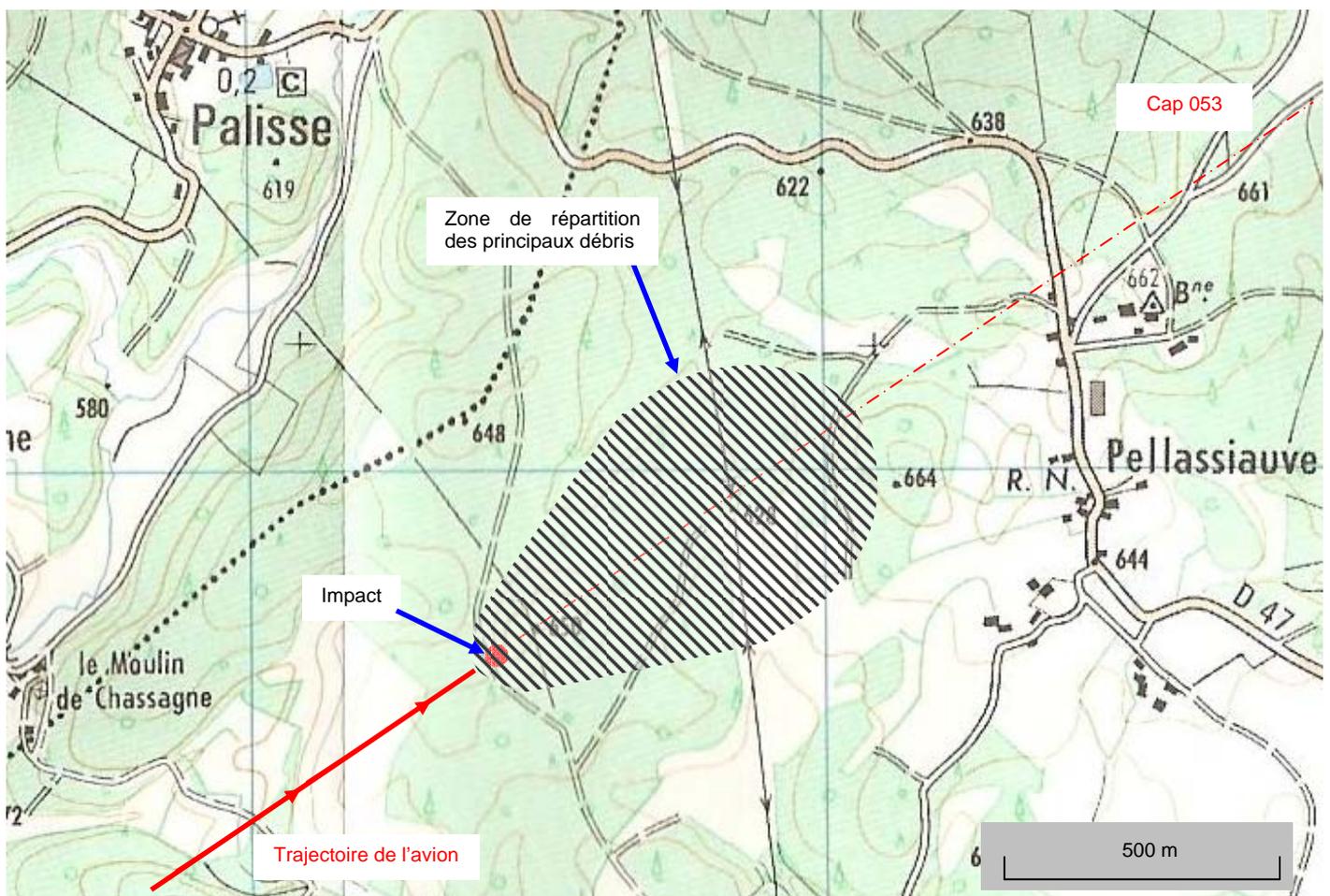
- d'un enregistreur de paramètres de type ESPAR NG ;
- d'un boîtier de stockage de données de mission (BSDM) assurant l'enregistrement des paramètres de la mission et les informations relatives à l'état technique de l'avion ;
- d'un enregistreur vidéo des écrans de visualisation sur bande magnétique Hi8.

L'enregistreur de vol et les mémoires du BSDM ont été localisés le lendemain de l'accident. L'enregistreur vidéo et la bande magnétique n'ont pas été retrouvés.

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

1.10.1. Examen de la zone

La zone de l'épave débute au point d'impact et s'étend longitudinalement dans le sens de la trajectoire orientée au cap 053. Sa longueur et sa largeur sont respectivement de 850 et 500 mètres. L'avion a sectionné des arbres sur les quinze derniers mètres de sa trajectoire, à une hauteur progressivement décroissante de 8,5 m jusqu'au sol. L'impact avec le sol situé sur le flanc d'une butte est matérialisé par un cratère ovale de 15 m de long, 10 m de large, et de profondeur moyenne voisine de 4 m.



Zone de l'épave, les débris les plus massifs sont concentrés sur l'axe de la trajectoire de l'avion.

1.10.2. Examen de l'épave

L'épave est morcelée en débris de petites dimensions. Les éléments recueillis au point d'impact et aux abords du cratère sont principalement des fragments des atterrisseurs principaux et des réservoirs pendulaires. La fouille ultérieure du cratère a permis de constater que l'avion ne s'est quasiment pas enfoui dans le sol. Les mémoires du BSDM sont retrouvées à proximité immédiate du cratère. L'enregistreur de vol a été retrouvé à 80 mètres du point d'impact. Dans le reste de la zone de l'épave, les débris les plus massifs sont concentrés sur l'axe de la trajectoire de l'avion.



Zone de l'impact avec le sol

1.11. Renseignements médicaux et pathologiques concernant le pilote

- Dernier examen médical :
 - type : visite annuelle effectuée au CPEMPN⁹ ;
 - date : 19 novembre 2007 ;
 - résultat : apte pilote de chasse sans restriction ;
 - validité : 12 mois.
- Examens biologiques : non réalisés.
- Blessures : l'ensemble des lésions du polytraumatisme constaté est consécutif à l'accident.

⁹ CPEMPN : centre principal d'expertise médicale du personnel navigant

1.12. Survie du pilote

1.12.1. Abandon de bord

Les sièges éjectables des places avant et arrière ont été détruits lors de l'impact avec le sol et morcelés. L'importante dégradation des débris retrouvés n'a pas permis le recueil d'indices témoignant de l'activité du siège du pilote et de sa poignée de commande avant l'impact.

1.12.2. Organisation des secours

1.12.2.1. Renseignements initiaux

A 17 h 24 mn 04 s le CDC de Mont-de-Marsan perd le contact radio et radar avec l'équipier de la patrouille Rasoir Fox sans réception de signal IFF de détresse, alors que l'appareil est en piqué entre 18 000 et 4 000 pieds. Il alerte alors le centre de coordination et de sauvetage (RCC) associé.

1.12.2.2. Recherche de l'épave

Le CDC maintient sur zone les trois autres avions du dispositif. Le plan SATER B est déclenché en Corrèze, dans la zone située au sud d'Ussel. Le RCC de Lyon coordonne le déclenchement des plans de secours SATER B dans les départements du Cantal et du Puy-de-Dôme. Après l'analyse de la trajectoire, il est demandé à la préfecture de la Corrèze de déclencher le plan de secours SATER C dans un cercle de 3 km de rayon centré sur le village de Palisse. L'épave est localisée à 18h26 par le groupement de gendarmerie de la Corrèze, et l'accident confirmé.

1.12.2.3. Recherche du pilote

Les recherches sont dirigées par le RCC de Mont-de-Marsan. Le RCC de Lyon ainsi que les préfectures de la Corrèze, du Puy-de-Dôme et du Cantal lui sont associées. Elles ont eu lieu principalement de nuit et par de mauvaises conditions météorologiques, grâce à des moyens terrestres et aériens.

Les recherches terrestres débutent à 17 h 38 dans le cadre des phases B puis C du plan SATER.

Les moyens aériens suivants ont été engagés :

- un hélicoptère (Puma) SAR¹⁰ de l'armée de l'air basé à Cazaux a été pré-alerté par le RCC dès l'annonce de la disparition de l'avion et a décollé à 18h40 ;
- le RCC de Lyon propose la mise en alerte de l'hélicoptère EC145 de la Sécurité civile basé à Clermont-Ferrand. Ce moyen est engagé car il permet la recherche à l'aide de jumelles de vision nocturne et la couverture de la zone de recherche au nord-est de Palisse. L'appareil décolle à 19h01. Les mauvaises conditions météorologiques ne permettent pas au Puma et à l'EC 145 d'approcher de la zone de l'accident ;
- un hélicoptère Ecureuil de la Gendarmerie, qui décolle le lendemain 7 décembre à 08 h 18.

Les communications radio entre les moyens de recherches aériens et le RCC ont été relayées par d'autres aéronefs, déroutés vers la zone de recherche ou planifiés pour le lendemain.

Les ADRASEC¹¹ des trois départements concernés ont été alertées. Elles n'ont cependant pas été en mesure d'aider à la localisation en raison de l'absence de réception de signal radioélectrique susceptible d'être émis par la balise de détresse du pilote. Cette absence de réception a été confirmée par le FMCC¹² de Toulouse grâce au système COSPAS-SARSAT¹³.

¹⁰ SAR : *search and rescue* – recherche et sauvetage

¹¹ ADRASEC : association départementale des radioamateurs au service de la Sécurité civile.

¹² FMCC : centre français de contrôle de mission du centre national d'études spatiales de Toulouse

¹³ COSPAS-SARSAT : système mondial d'alerte et de localisation de balises de détresse

Le corps du pilote est découvert le lendemain à 08 h 37.

1.13. Renseignements supplémentaires

Les enregistrements suivants ont été recueillis :

- enregistrements à bord des autres avions :
 - la mémoire du BSDM du leader de la patrouille des défenseurs (Golf 1), a permis de confirmer la trajectoire de l'avion accidenté ;
 - l'enregistrement vidéo de la visualisation de la tête haute de Golf 1, a permis d'apprécier les conditions de visibilité.
- enregistrements réalisés par le CDC de la base aérienne de Mont-de Marsan :
 - la trajectographie des avions de la patrouille ;
 - l'enregistrement audio des émissions radio a permis de synchroniser la trajectoire de l'avion avec les conversations des acteurs.

2. ANALYSE

Au cours d'une mission d'entraînement au combat, à l'altitude de 12 760 pieds et au terme d'un virage par la droite effectué en descente, l'équipier d'une patrouille légère de Rafale perd le contrôle de la trajectoire de l'avion qui impacte le sol vingt-et-une secondes plus tard à l'altitude topographique de 2 130 pieds.

L'analyse de cet événement comprend :

- l'exploitation des enregistrements recueillis afin de reconstituer la trajectoire finale de l'avion et les conditions dans lesquelles elle a été réalisée ;
- l'énoncé et la vérification des hypothèses relatives aux causes de l'événement.

2.1. Exploitation des enregistrements

2.1.1. Mémoires du BSDM

Les endommagements subis par les mémoires de l'enregistreur de mission et de maintenance n'ont pas permis l'extraction d'informations.

2.1.2. Communications radio enregistrées par le CDC de Mont-de-Marsan

Les communications enregistrées témoignent des derniers messages suivants :

Emetteur	Destinataire(s)	Heure	Message
Leader	CDC	17h22mn52s	Le leader demande au CDC de lui décrire le groupe défenseur situé à l'est.
CDC	Leader	17h22mn55s	Le CDC décrit la position du groupe situé à l'est.
Leader	Equipier et CDC	17h23mn03s	Le leader confirme la réception de l'information, annonce son attaque du groupe situé à l'est, et ordonne à son équipier d'attaquer le groupe situé à l'ouest.
Equipier	Leader	17h23mn09s	L'équipier confirme la réception de l'ordre.
CDC	Leader et équipier	17h23mn19s	Le CDC décrit la manœuvre du groupe situé à l'ouest.
Equipier	Leader	17h23mn22s	L'équipier annonce son intention d'effectuer un 360 et de poursuivre au radar le groupe situé à l'ouest.
Leader	Equipier et CDC	17h23mn26s	Le leader refuse, ordonne à son équipier de rester dos à la menace, annonce sa poursuite au radar du groupe situé à l'est et informe le CDC.

Emetteur	Destinataire(s)	Heure	Message
CDC	Leader et équipier	17h23mn33s	Le CDC décrit la position des deux groupes.
Leader	Equipier et CDC	17h23mn59s	Le leader annonce son repositionnement pour attaquer le groupe ouest, le plus menaçant.
		17h24mn04s	<i>Dernier contact radar.</i>
Leader	Equipier	17h24mn09s	Le leader demande à son équipier de vérifier le fonctionnement de la Liaison 16 et n'obtient pas de réponse de ce dernier.

2.1.3. Exploitation des paramètres de l'enregistreur de vol

Les informations contenues par la mémoire de l'enregistreur de vol ont pu être extraites.

– Attitude de l'avion au cours de la phase finale du vol :

Au cours de l'avant-dernière minute du vol, le pilote effectue un virage à gauche pendant vingt-six secondes incliné à plus de 70° entre 14 000 et 15 000 pieds, sous un facteur de charge quasi constant de 3,5 à 4 G, qui se termine par la réduction des gaz et un à-coup en gauchissement à gauche l'amenant en position trois quart dos, avant le retour en vol horizontal.

Lors de la dernière minute du vol le pilote réalise successivement (voir annexes 1 et 2) :

- un virage à droite saccadé pendant environ une minute, sous un facteur de charge évoluant entre 0 et 5 G, en montée jusqu'à 17 000 pieds puis en descente ;
- passant l'altitude de 12 760 pieds en descente, un tonneau à gauche en piqué suivi d'un demi-tonneau à droite puis d'un demi-tonneau à gauche ;
- une remise des ailes à l'horizontale, en piqué ;
- une violente action à cabrer.

La fin de l'enregistrement a lieu 1,5 s plus tard à l'altitude mesurée de 2 048 pieds sous facteur de charge voisin de 5G. La vitesse de l'avion est alors de 596 kt et son assiette de -31°.

– Etats techniques.

Les états techniques mémorisés témoignent :

- de l'absence de départ du siège éjectable ;
- d'aucun dysfonctionnement des systèmes surveillés.

– Pilote automatique.

Le pilote automatique n'était pas en fonctionnement lors de l'événement.

– Dispositifs d'alerte de sécurité par rapport au sol.

- La fonction protection sol et l'altitude de consigne n'étaient pas pré-activées.
- La hauteur de consigne du radioaltimètre était réglée à zéro.

2.2. Recherche des causes de la collision avec le sol

L'analyse des faits, les témoignages, et les résultats des expertises permettent de formuler les hypothèses suivantes relatives aux causes de l'événement. Elles sont exposées en fonction de l'origine des causes relevant des domaines :

- environnemental ;
- de la manœuvrabilité de l'avion ;
- du facteur humain.

2.2.1. Hypothèses relevant du domaine environnemental

Au cours de la phase de vol consacrée au combat, l'équipier de la patrouille évolue entre deux couches nuageuses. La vue du sol est quasiment nulle. A l'heure de l'événement, compte tenu des conditions météorologiques et du crépuscule, les conditions de vol sont similaires à celles du vol de nuit. La zone géographique survolée se caractérise par une faible densité d'agglomérations. Les sources lumineuses provenant du sol sont rares et de faible intensité. Dans l'éventualité de leur perception par le pilote, elles ne peuvent être visibles que de façon très éphémère.

Bien que les conditions météorologiques rencontrées aient pu compliquer la recherche de l'orientation, elles ne présentaient toutefois pas de particularité susceptible d'affecter la sécurité de la mission.

L'hypothèse qu'une cause environnementale soit à l'origine de l'événement est rejetée.

2.2.2. Hypothèse relative à la manœuvrabilité de l'avion

Il s'agit de vérifier la manœuvrabilité de l'avion au plan des commandes de vol et de la motorisation.

- Chaînes de commandes de vol.

L'analyse des informations issues de l'enregistreur de vol a montré que le mouvement des gouvernes était cohérent avec les actions du pilote et que le comportement de l'avion était lui aussi cohérent avec le braquage des gouvernes.

- Fonctionnement des moteurs.

Les résultats de l'analyse des paramètres enregistrés a permis d'établir la conformité des poussées des deux moteurs pendant tout le vol.

La cohérence du fonctionnement des commandes de vol et de la propulsion montrent que la manœuvrabilité de l'avion n'est affectée par aucun dysfonctionnement.

En conséquence, l'hypothèse d'une perte de manœuvrabilité partielle ou totale de l'avion est rejetée.

2.2.3. Hypothèse relevant du facteur humain

Les paramètres enregistrés montrent une activité continue du pilote sur les commandes de vol et la manette des gaz au cours de la phase finale du vol jusqu'à la fin de l'enregistrement.

2.2.3.1. Analyse des vingt-et-une dernières secondes du vol

- Au terme du virage à droite, le pilote renverse l'inclinaison de l'avion de façon excessive par la gauche, et de ce fait se retrouve en position trois quart dos en maintenant le facteur de charge, ce qui a pour conséquence de placer l'avion en piqué à 35°.

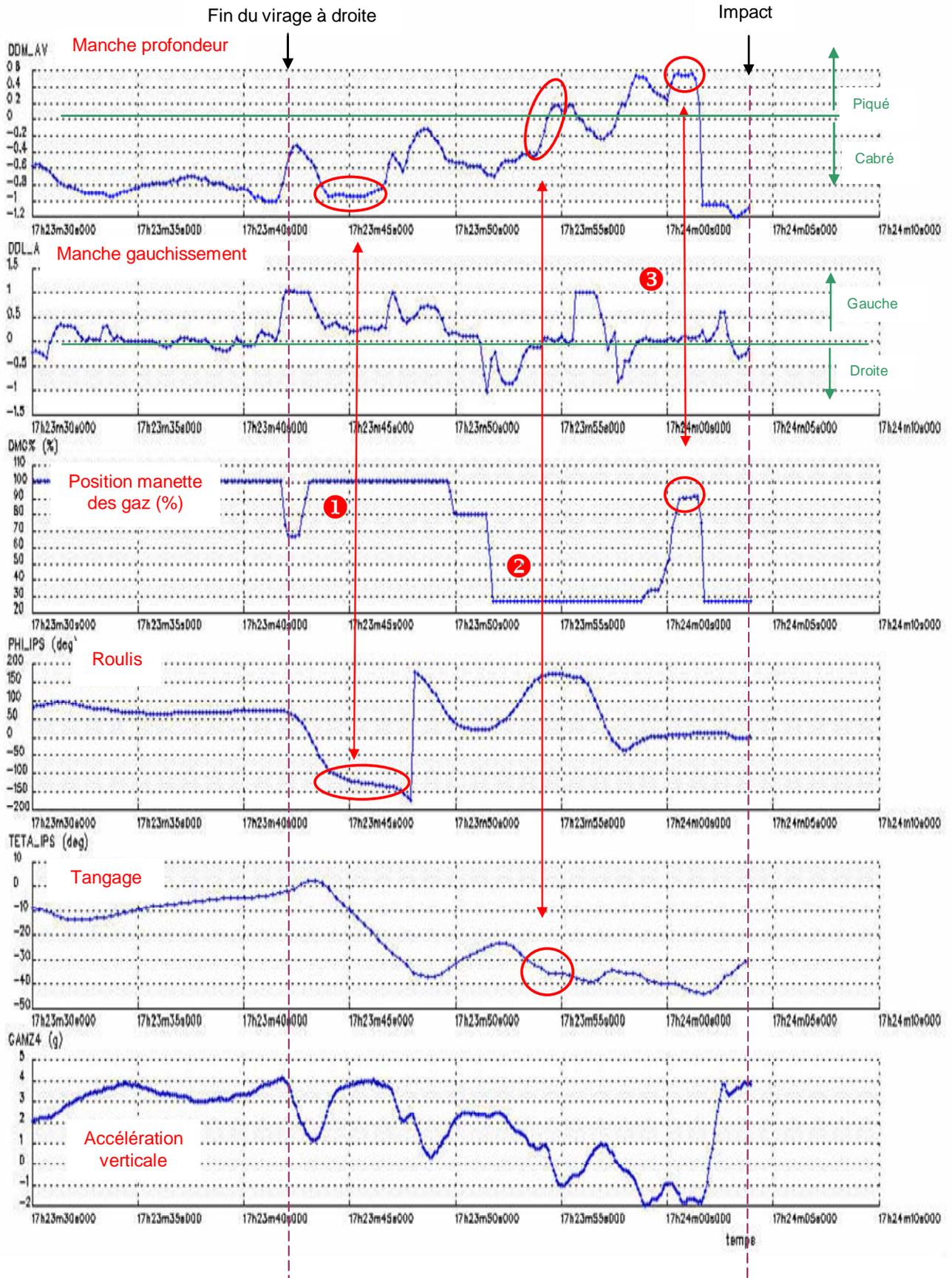
- Le pilote ne semble pas détecter ce piqué immédiatement. Il est possible que son attention soit à cet instant focalisée sur le collimateur tête moyenne pour mettre en application les informations transmises par le leader, notamment celles relatives au comportement de l'avion hostile sur lequel il vient de tirer.
- Au cours du tonneau, le pilote semble percevoir l'anomalie d'attitude.
- Les actions alternatives appliquées à la manette des gaz et à la commande de profondeur montrent qu'il a bien détecté une anomalie de la pente, et qu'il ne parvient pas à déterminer s'il est en piqué ou en cabré.

2.2.3.2. Synchronisation des ordres appliqués aux commandes avec le comportement de l'avion

L'observation de la synchronisation des actions du pilote avec le comportement de l'avion (voir figure ci-dessous) permet d'observer après la fin du virage à droite (17h 23mn 43s) :

- un ordre à cabrer alors que l'avion est quasiment en position de vol inversé avec une assiette à piqué voisine de 20° (repère ❶) ;
- un ordre à piquer lors du demi-tonneau à gauche alors que l'assiette décroît au-delà de -30° (repère ❷) ;
- des actions simultanées relevées quatre secondes avant la fin du vol, d'une part à piquer à la commande de profondeur et d'autre part d'augmentation de puissance à la position plein gaz (repère ❸). Ces dernières semblent correspondre à une volonté de sortie de cabré, alors que l'assiette de l'avion est voisine de 40° à piquer.

Les mouvements des commandes relevés au cours des vingt-et-une dernières secondes de l'enregistrement semblent refléter la recherche du contrôle de la trajectoire. Les ordres appliqués aux commandes de profondeur, gauchissement et puissance témoignent d'une difficulté à se situer dans l'espace, et plus particulièrement à identifier le haut du bas.



Synchronisation des ordres appliqués aux commandes avec le comportement de l'avion

Compte tenu de la manœuvrabilité de l'appareil et des circonstances de l'événement, l'observation comparative des ordres appliqués aux commandes et des attitudes successives de l'appareil à l'issue du dernier virage permet de retenir l'hypothèse d'une illusion sensorielle entraînant la désorientation spatiale du pilote.

Deux secondes avant la fin de l'enregistrement, alors que les ailes sont horizontales, le pilote déplace rapidement la manette de puissance depuis la position plein gaz à la position plein réduit. Cette action, simultanée à un ordre violent sur la commande de profondeur à cabrer, peut correspondre à une prise de conscience certaine de la position de l'avion dans l'espace par le pilote.

2.3. Recherche des causes de la désorientation spatiale

Les illusions sensorielles résultent d'une perception ou d'une interprétation erronée par le cerveau des informations transmises par différents capteurs. Elles engendrent une représentation erronée de l'espace et de notre position dans celui-ci.

L'hypothèse de la désorientation spatiale du pilote étant retenue, la suite de l'analyse est consacrée à la recherche des facteurs qui ont pu conduire à la perte de référence ou à la favoriser. Les domaines explorés concernent les facteurs relevant :

- du pilote ;
- de l'avion ;
- de l'emploi.

2.3.1. Facteurs relevant du pilote

2.3.1.1. Incapacité subite en vol

- Problèmes neurologiques et cardiologiques

L'activité permanente du pilote aux commandes et l'absence d'antécédent particulier tant neurologique que cardiologique le concernant permettent de rejeter cette hypothèse.

- Problèmes digestifs

Le pilote n'a émis aucun message radio faisant état d'un quelconque malaise. Les analyses des échantillons témoins des denrées alimentaires composant le déjeuner servi le 6 décembre 2007 se sont révélées négatives.

- Problèmes pulmonaires

Le pilote n'a pas manifesté de plainte¹⁴ relative à sa fonction respiratoire tant au cours du vol que par le passé.

- Hypoxie

L'altitude du vol ne nécessitant pas d'apport d'oxygène, l'hypothèse de l'hypoxie est rejetée. De surcroît, aucun dysfonctionnement du système de conditionnement de la cabine ni de l'approvisionnement du pilote en oxygène n'a été décelé.

¹⁴ Le service de santé des armées a recensé les déclarations de pilotes de Rafale ayant fait état de douleur thoraciques depuis le début de l'exploitation de l'avion. Une étude menée par le département de médecine aéronautique opérationnelle du centre d'expériences aériennes militaires a permis de constater ces maux et d'en trouver la cause dans la régulation du dispositif de production d'oxygène de l'avion. La modification de l'installation a été entreprise. Toutefois, les problèmes respiratoires rencontrés n'ont jamais conduit à une incapacité subite en vol.

– G.LOC¹⁵

Le dispositif de gestion des commandes de vol limitait le facteur de charge à 5,5 G par la butée élastique de la commande de profondeur. Il a été constaté que cette butée n'a pas été dépassée au cours de ce vol avant l'impact. Le pilote n'a signalé aucun problème relatif au fonctionnement de son pantalon anti-G au cours du combat qui a duré dix-neuf minutes. L'hypothèse d'un dysfonctionnement de cet équipement est rejetée.

En conséquence, l'hypothèse d'une incapacité subite en vol est rejetée.

2.3.1.2. Baisse de la vigilance

Outre l'hypoxie abordée précédemment, trois causes capables de provoquer une baisse de vigilance peuvent être envisagées :

– l'hypoglycémie

Il est établi que le pilote a déjeuné à 11 h 30 le jour de l'événement. En revanche, il n'a pas été possible de savoir s'il s'était alimenté avant le vol.

– la fatigue

Les facteurs de charge subis de façon régulière et leur variation d'intensité au cours du combat ont pu induire une fatigue du pilote. Compte tenu de son excellente condition physique, de son entraînement et de sa tolérance aux facteurs de charge, l'hypothèse d'une fatigue importante survenue pendant le vol est peu probable.

– l'effet de médicaments

Il n'a pas été constaté de prescription médicale dans les jours précédant l'événement.

Par conséquent l'hypothèse d'une baisse de vigilance due à l'hypoxie, la fatigue, l'hypoglycémie ou l'effet de médicaments est peu probable.

2.3.1.3. Stress

Le pilote ne souffrait pas de stress chronique. L'occurrence d'un stress cohérent avec sa perception de la situation au cours des dernières secondes du vol est possible, mais ne peut être à l'origine de la désorientation supposée.

2.3.1.4. Physiologie du pilote au cours de l'événement

Avant de réaliser le tonneau à gauche, le pilote a effectué un virage cadencé à droite pendant 25 secondes. Ce long virage a entraîné la saturation des canaux semi-circulaires de l'oreille interne. Cette saturation a alors fait cesser la perception vestibulaire de rotation. Le retour des ailes à plat à l'issue du virage provoque alors la sensation d'une inclinaison dans le sens opposé à celle subie pendant le virage.

Toutefois, la saturation des canaux semi-circulaires ne suffit pas à provoquer la réalisation d'un tonneau puis de deux demi-tonneaux par le pilote. Cette suite de manœuvre demande un déclencheur plus virulent. **Seul l'effet de Coriolis est à même de provoquer ce type d'action sur les commandes de vol.**

Dans le cas présent, l'effet de Coriolis peut être induit par une inclinaison rapide de la tête du pilote vers l'avant. Ce mouvement produit un changement brutal et inattendu d'une accélération angulaire du plan d'un canal semi-circulaire sur un autre. L'organisme, qui ne possède pas de modèle de

¹⁵ *G-induced loss of consciousness* : perte de conscience induite par le facteur de charge.

changement d'application, rejette cette brutale transformation : le cerveau détecte une dynamique qu'il ne sait pas interpréter. Il en résulte la perception erronée d'une brusque modification de l'attitude de l'appareil à laquelle peut être associé un vertige.

L'enchaînement de deux mécanismes physiologiques a pu soumettre le pilote à une illusion sensorielle et provoquer les actions constatées sur les commandes de vol.

2.3.1.5. Hypothèse d'un défaut de surveillance des instruments de pilotage

Au terme du virage à droite, l'action du pilote en gauchissement n'est pas annulée lorsque la position des ailes devient horizontale. La poursuite du mouvement semble être réalisée en l'absence de références d'orientation (pertes de références visuelles ou absence de surveillance des instruments). Sachant que le manque de visibilité empêche l'utilisation de références visuelles extérieures, les indications d'attitude ne peuvent être trouvées qu'à l'aide des instruments. A défaut, le pilote ne dispose plus de référence lui permettant de se situer dans l'espace et, de fait, se retrouve désorienté.

L'hypothèse qu'un défaut momentané de surveillance des instruments soit à l'origine de la désorientation du pilote est possible.

2.3.2. Facteurs relevant de l'avion

Il s'agit d'identifier ce qui a pu justifier les mouvements de la tête du pilote et engendrer l'effet de Coriolis.

Parmi les raisons susceptibles d'être à l'origine de ces mouvements, les plus probables sont :

- une absence de visualisation pouvant être produite par :
 - une panne du collimateur tête haute ou/et de l'instrument permanent de secours (IPS) ;
 - une panne ou l'insuffisance de l'éclairage des instruments ;
 - un abaissement intempestif de la visière teintée du casque ;
- la lecture des informations sur l'IPS.

Ces deux hypothèses seront explorées après un rappel succinct de l'ergonomie de la planche de bord de l'avion.

2.3.2.1. Ergonomie de la planche de bord

Le pilotage est réalisé au moyen d'un collimateur tête haute (CTH) qui présente aussi les informations du système d'arme. L'analyse de la situation tactique est réalisée grâce à la visualisation en tête moyenne, collimatée de manière à permettre une transition rapide de l'œil du pilote sans accommodation entre les deux visualisations. Les deux écrans de visualisation latérale tactiles permettent la gestion des ressources. L'IPS présente la position du vecteur vitesse air sur une représentation de type boule, incluant les informations de vitesse, cap, altitude, mach et calage altimétrique.



Planche de bord du Rafale

2.3.2.2. Hypothèse de l'absence de visualisation

– Panne de visualisation

Lors de l'événement, la quasi-absence de références extérieures liée aux conditions météorologiques et la très faible luminosité extérieure placent le pilote en situation de vol sans visibilité. L'information de référence spatiale ne peut alors lui être fournie que par le CTH ou l'IPS.

L'exploitation de l'enregistreur de vol n'a pas permis de déceler un dysfonctionnement du CTH et/ou de l'IPS. Ce constat ne témoigne cependant pas du bon fonctionnement de ces deux équipements.

L'hypothèse qu'une panne de visualisation en CTH et/ou de l'IPS ait pu contribuer à la désorientation spatiale du pilote est possible.

Toutefois, au cours des dernières secondes du vol, les actions de pilotage constatées permettent d'affirmer que le pilote a retrouvé les informations relatives à l'attitude de l'avion. En conséquence, l'hypothétique panne de visualisation a été éphémère, ou bien n'a concerné que l'un des deux équipements, le CTH ou l'IPS.

– Eclairage

Une panne de l'éclairage de l'IPS ou un niveau préréglé insuffisant de la luminosité de son écran a pu retarder la récupération des références d'attitude par le pilote.

– Abaissement intempestif de la visière teintée du casque

L'examen des faits techniques relatifs au casque équipant les équipages affectés sur Rafale montre que les évolutions sous facteur de charge peuvent déclencher l'abaissement intempestif de la visière teintée.

Cette occurrence a pu :

- entraîner une atténuation momentanée évidente de la vision en cabine et affecter la qualité des références d'attitude perçues ;
- contraindre le pilote à relever la visière et affecter la tenue des éléments de vol pendant la durée de la manipulation.

En conséquence, un abaissement intempestif de la visière a pu contribuer aux causes de la désorientation spatiale du pilote.

L'armée de l'air et la marine nationale ont décidé la modification de cet équipement. Cette dernière est entreprise.

2.3.2.3. Hypothèse relative à la lecture de l'IPS

Par rapport à la tête du pilote, l'IPS est placé 30° au dessous de l'axe visuel horizontal et 35° à droite de l'axe médian de l'appareil. L'angle minimal communément admis pour qu'un déplacement des yeux entraîne celui de la tête étant de 25°, le déplacement du regard ne suffit pas à permettre la vue de l'indicateur.

Sa consultation en vision centrale demande un déplacement de la tête, d'autant que la tension associée à cette intrusion réduit le champ visuel.

Ce mouvement de la tête nécessaire à la lecture de l'IPS est susceptible d'induire un effet de Coriolis selon le scénario hypothétique suivant :

- placé en condition de vol aux instruments et percevant l'inclinaison à gauche au terme de la remise des ailes à plat, le pilote a pu vouloir vérifier son attitude réelle à l'aide de l'IPS ;
- cette acquisition d'information a imposé un mouvement de la tête à droite et vers le bas capable de produire un effet de Coriolis qui a induit une sensation de modification de l'attitude de l'appareil ; les ordres appliqués aux commandes de vol après le début du tonneau sont compatibles avec des actions de correction correspondant aux sensations éprouvées.

En conséquence, l'hypothèse qu'une consultation de l'IPS ait pu soumettre le pilote à une illusion sensorielle est possible.

2.3.3. Facteurs relevant de l'emploi

2.3.3.1. Pilote automatique

Le pilote automatique n'était pas en fonction pendant les phases de stabilisation dos à la menace.

L'absence d'utilisation du pilote automatique au cours des phases stables d'éloignement a pu favoriser la désorientation spatiale du pilote et, par conséquent, contribuer aux causes de l'événement.

2.3.3.2. Dispositifs d'alerte et de sécurité par rapport au sol

L'avionique du Rafale comprend trois dispositifs d'alerte de sécurité permettant d'avertir le pilote d'un rapprochement du sol ou du dépassement d'un seuil minimal d'altitude.

– La fonction « protection sol »

Prédictive et basée sur l'utilisation des données numériques embarquées du terrain, elle permet de signaler au pilote si la trajectoire de l'avion, en incluant l'éventualité d'une ressource à 3 G, peut devenir inférieure à une hauteur minimale choisie entre 50 et 10 500 pieds. En cas de dépassement de ce seuil, le pilote est informé par :

- une alarme sonore ;
- l'affichage en CTH d'une représentation du sol et d'une flèche donnant la direction de l'horizon par le chemin le plus court.

Les données numériques relatives au terrain étaient installées à bord de l'avion lors de l'événement.

Le Rafale standard F2-2 a été qualifié par la délégation générale pour l'armement, équipé de la fonction « protection sol ». Au jour de l'événement, aucune directive d'emploi ne précisait l'utilisation de la fonction.

Cette fonction n'était pas activée.

– L'altitude de consigne

Cette fonction permet de définir un seuil d'altitude barométrique minimal qui, lorsqu'il est franchi, déclenche une alarme vocale.

La fonction n'était pas activée.

– La hauteur de garde

Lorsque la hauteur mesurée par la radiosonde (entre 0 et 10 000 pieds) devient inférieure à un seuil préalablement défini par le pilote, celui-ci est alerté par une alarme sonore et visuelle.

Néanmoins, compte tenu du domaine d'emploi de la radiosonde et des assiettes longitudinale et latérale élevées de l'avion lors de l'événement, l'information d'altitude décroissante n'a été disponible et affichée en CTH que pendant environ une seconde de 7 740 à 7 610 pieds.

La hauteur de garde était réglée à zéro.

Remarque : au cours de la mission considérée, compte tenu de la configuration du terrain, il existait une réelle difficulté à définir une hauteur de garde.

- **L'hypothèse que l'absence de pré-activation de la fonction « protection sol » et de l'altitude de consigne ait pénalisé une prise en compte de la proximité du sol par le pilote est possible.**
- **L'hypothèse qu'une utilisation de la fonction « protection sol » aurait permis une récupération plus rapide du contrôle de la trajectoire est possible.**

3. CONCLUSION

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

- L'événement survient après une heure de vol dont dix-neuf minutes de combat ;
- les conditions de vol à cet instant sont assimilables à celles du vol sans visibilité ;
- le pilote, expérimenté sur Mirage 2000N, totalise 114 heures vol sur Rafale dont 5 heures et 30 minutes de nuit ;
- son activité aérienne a été interrompue pendant quatre mois. Depuis la reprise de cette activité, il a réalisé 5 heures et 35 minutes de vol de jour et 50 minutes de nuit ;
- au cours de la minute précédant l'événement, le pilotage génère des facteurs de charges élevés et répétés ;
- aucune anomalie concernant la manœuvrabilité de l'avion n'a été constatée ;
- aucun dysfonctionnement de l'avion n'a été décelé ;
- le pilote automatique n'était pas en fonctionnement ;
- parmi les dispositifs d'alerte et de sécurité par rapport au sol :
 - la fonction protection sol et l'altitude de consigne n'étaient pas activées ;
 - la hauteur de garde était réglée à zéro.

3.2. Causes de l'événement

Les investigations ont montré que le contexte du vol a pu exposer le pilote à une illusion sensorielle capable de provoquer sa désorientation spatiale. Celle-ci a pu conduire à la perte de référence d'attitude dont la récupération trop tardive n'a pas permis d'éviter la collision avec le sol.

3.2.1. Causes de la perte de référence d'attitude

La désorientation du pilote au terme du dernier virage a pu être consécutive à :

- un défaut momentané de surveillance des instruments pendant cette phase du vol ;
- au vertige induit par l'illusion sensorielle à laquelle il a été exposé par une éventuelle lecture de l'IPS dans ces circonstances ponctuelles.

Elle a pu être favorisée par l'absence d'utilisation du pilote automatique au cours des phases stables d'éloignement.

Une panne de visualisation en CTH et/ou de l'IPS ainsi qu'un abaissement intempestif de la visière teintée du casque ont pu contribuer à ces causes, avec une moindre probabilité.

3.2.2. Récupération tardive de référence d'attitude

Une panne de l'éclairage ou un réglage à un niveau insuffisant de celui-ci a pu contribuer à retarder la récupération de la référence d'attitude.

Il est possible qu'une utilisation de la fonction « protection sol » aurait permis la récupération plus rapide du contrôle de la trajectoire.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

4.1.1. Entraînement

Aucun processus de sélection des personnels navigants ne permet d'exclure les phénomènes vestibulaires à l'origine de l'illusion sensorielle. En revanche, afin de faire prendre conscience aux intéressés de l'inéluctabilité de l'illusion en même temps que de la possibilité de récupération, il est important de les placer en situation d'illusion, comme le permet le générateur d'illusion sensorielle (GIS) du CEAM. La formation professionnelle doit renforcer cette prise de conscience autant en début de carrière que lors des transitions importantes, notamment lors de l'affectation sur un nouvel aéronef.

En conséquence, le BEAD-air recommande :

le renforcement de l'entraînement des personnels navigants à la connaissance des situations d'illusions sensorielles afin d'identifier avec certitude et sans délai ces situations, et d'acquérir des stratégies fiables de recherche d'informations sur les instruments de bord.

4.1.2. Pilotage et missions

L'analyse de l'enregistreur de vol a montré l'application d'ordres aux commandes de vol particulièrement dynamiques et saccadés au cours de la réalisation du virage à droite, lors de la dernière minute du vol.

Expérimenté sur Mirage 2000N, le pilote avait une grande expérience du vol à très basse altitude dans le cadre de missions différentes de celles auxquelles il était confronté depuis son affectation sur Rafale au mois de janvier 2007. Il avait acquis depuis une expérience de 108 heures et 35 minutes de vol de jour et 5 heures et 35 minutes de vol de nuit sur ce nouvel avion. Cet « apprentissage » de l'avion avait été cependant interrompu pendant environ quatre mois au cours desquels il n'a pas eu d'activité aérienne.

De fait, ne disposant pas encore d'un modèle de processus propre au pilotage du Rafale solidement établi, il lui était probablement difficile d'interpréter correctement les informations sensorielles perçues lors de l'événement.

C'est pourquoi le BEAD-air propose à l'armée de l'air et au commandement de la force de l'aéronautique navale :

de rappeler que de fortes et amples stimulations répétées des capteurs de l'oreille interne sont susceptibles de placer les équipages en situation sensorielle difficile,

et dans le cadre de la transformation du personnel navigant sur Rafale :

- de prendre en compte les contraintes inhérentes à l'adaptation sur un nouvel aéronef des équipages déjà expérimentés en définissant des progressions personnalisées tenant compte à la fois de leurs expériences passées et du temps nécessaire au développement d'une expertise sur ce nouvel aéronef ;**
- d'éviter d'interrompre complètement l'activité aérienne pendant la phase d'apprentissage sur un nouvel avion.**

4.1.3. Instrumentation Permanente de Secours au pilotage (IPS)

– Utilisation :

Le manuel d'emploi basique du Rafale stipule que l'IPS est l'instrument le plus facilement exploitable dans les situations d'urgence liées aux positions inusuelles, et qu'il est donc l'instrument principal permettant de rétablir une attitude saine.

Le BEAD-air recommande le renforcement de l'enseignement vital de ce principe aux pilotes à l'instruction, et son rappel aux pilotes qualifiés.

– Ergonomie :

- Les effets des illusions sensorielles générées lors des vols sans visibilité imposent l'emploi structuré des différentes pages affichables sur les écrans de la planche de bord et la restriction des mouvements de la tête.
- La lecture de l'IPS hors du champ de vision centrale nécessite un déplacement de la tête susceptible d'entraîner une sensation brutale de vertige dans certaines conditions de vol capables de désorienter le pilote.

Aussi, afin de prévenir cette éventualité, le BEAD-air recommande d'équiper le Rafale d'un dispositif qui, sur l'ordre du pilote, permette l'affichage des informations de l'IPS dans sa vision centrale sans nécessiter de mouvement de la tête.

4.1.4. Utilisation du pilote automatique et des dispositifs d'alerte de sécurité relative au sol

4.1.4.1. Pilote automatique

Le fonctionnement du pilote automatique équipant le Rafale ne permet pas le pilotage en transparence à l'aide du manche. En revanche, le pilotage en roulis et tangage est possible à l'aide d'un manipulateur. Il s'agit toutefois d'une fonction de correction qui ne permet pas de réaliser des manœuvres dynamiques sous facteur de charge élevé.

Lorsque le pilote décide de réaliser des évolutions dynamiques alors que le pilote automatique est en fonctionnement, il doit nécessairement déconnecter cette fonction pendant cette phase de vol et peut éventuellement la rétablir après le retour en vol stabilisé. Les commandes relatives à ces actions sont aisées.

Lors de l'événement, la désorientation spatiale du pilote a entraîné la perte de contrôle de la trajectoire de l'avion.

Le BEAD-air rappelle que la fonction du pilote automatique contribue au contrôle de la trajectoire et réduit la possibilité de rencontrer un phénomène de désorientation.

4.1.4.2. Dispositifs d'alerte de sécurité relative au sol

La fonction « protection sol », l'altitude de consigne et la hauteur de garde sont en mesure d'alerter le pilote dans leurs domaines de fonctionnement respectifs.

En conséquence, le BEAD-air recommande à l'armée de l'air en coordination avec le commandement de la force de l'aéronautique navale de préciser les conditions d'emploi des dispositifs d'alerte de sécurité par rapport au sol (ou la mer) de l'avion Rafale.

4.1.5. Moyen de sauvegarde

Afin de protéger le pilote des conséquences d'une situation identifiée de désorientation spatiale qu'il ne saurait plus gérer dans des délais compatibles avec sa sécurité,

le BEAD-air recommande d'équiper le Rafale d'un dispositif automatique permettant au pilote d'ordonner le retour en vol horizontal depuis n'importe quelle position se situant dans le domaine de vol.

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

4.2.1. Enregistrements

Lors de circonstances de vol caractérisées par des urgences soudaines et extrêmes, le pilote ou l'équipage peut ne pas être à même de communiquer avec ses interlocuteurs en vol ou au sol. Cette lacune d'information pénalise la restitution du scénario de l'événement. Des difficultés ont ainsi été rencontrées pour synchroniser les actions du pilote avec les conversations radio enregistrées par le CDC lors des investigations relatives à cet accident.

Aussi, afin de faire progresser la compréhension des événements,

le BEAD-air recommande à l'armée de l'air et au commandement de la force de l'aéronautique navale d'équiper les avions Rafale d'un enregistreur de conversation exploitable après un accident.

4.2.2. Recueil d'expériences

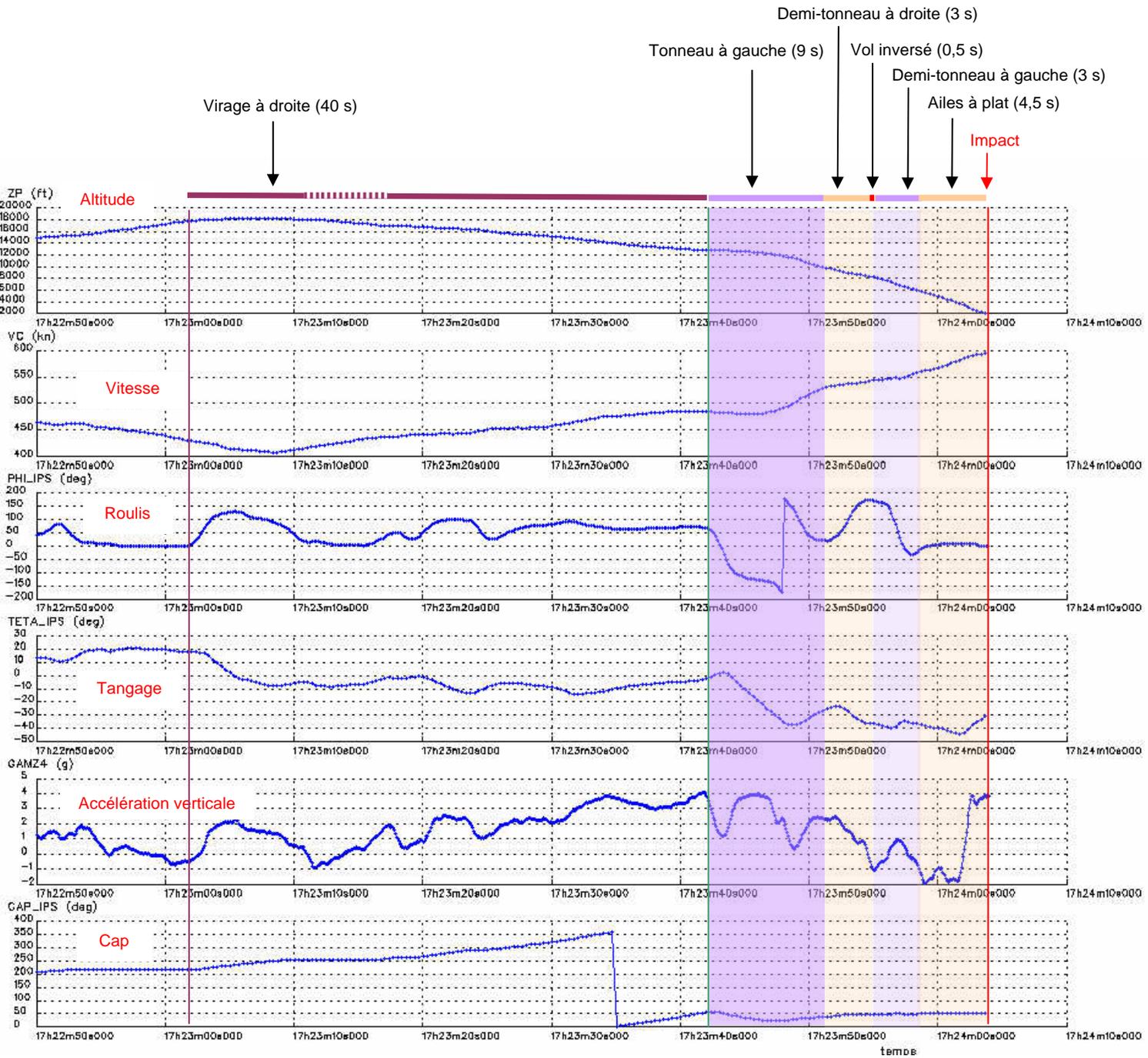
Afin de développer l'expertise aéronautique qui permet d'appréhender les modèles de processus relatifs aux illusions sensorielles en vol, le BEAD-air rappelle à l'armée de l'air et au commandement de l'aviation navale l'intérêt du recueil et du partage d'expériences aéronautiques ayant trait à la désorientation spatiale.

ANNEXES

Annexe 1 : cours de la phase finale du vol _____ page 35

Annexe 2 :

1. ATTITUDE DE L'AVION AU COURS DE LA PHASE FINALE DU VOL



2. CHRONOLOGIE DES ACTIONS DU PILOTE

Etapes	Action	Heure (h mn s)	Repère temps
1	Début de virage à gauche	17 22 00	$t_0 - 2mn4s$
2	Fin du virage	17 22 26	$t_0 - 1mn50s$
3	Virage à gauche (3/4 dos)	17 22 28	$t_0 - 1mn48s$
4	Remise à plat, puis cabré	17 22 30	$t_0 - 1mn44s$
5	Inclinaison à droite	17 22 38	$t_0 - 1mn 36s$
6	Remise à plat, puis virage à droite	17 23 03	$t_0 - 1mn1s$
7	Virage à droite, incliné de 80 à 90°	17 23 17	$t_0 - 47s$
8	Passage à plat, début de tonneau par la gauche	17 23 42	$t_0 - 22s$
9	Réduction de la puissance à plein réduit	17 23 00	$t_0 - 20s$
10	Début de demi-tonneau par la droite	17 23 53	$t_0 - 11s$
11	Vol dos	17 23 56	$t_0 - 8s$
12	Début de demi-tonneau par la gauche et remise pleins gaz (durée : 1s)	17 23 56,5	$t_0 - 7,5s$
13	Importante action à cabrer	17 24 01,5	$t_0 - 1,5s$
14	Fin de l'enregistrement	17 24 04	t_0