



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT D'ENQUÊTE DE SÉCURITÉ



BEAD-air-A-2012-001-A

Date de l'événement	14 janvier 2012
Lieu	Tabuk (Arabie Saoudite)
Types d'appareil	Mirage 2000D F15C
Immatriculations	2000D n° 619 – FUGIM F15C n° 206
Organismes	Armée de l'air Royal Saudi Air Force
Unité	Escadron de chasse 03.011 <i>2nd Fighting Squadron</i>

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.

CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page de garde : Sirpa air

Photos :

- Pages 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24,25 : BEAD-air

Illustrations :

- Pages 7, 9, 15, 16, 17, 18, 24,42 : BEAD-air

- Pages 29, 30, 31, 32, 33,42 : RESEDA

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	2
CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS	2
TABLE DES MATIERES	3
GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS	5
1. RENSEIGNEMENTS DE BASE	7
1.1. Déroulement du vol	7
1.2. Tués et blessés	10
1.3. Dommages à l'aéronef	10
1.4. Autres dommages	10
1.5. Renseignements sur le personnel	10
1.6. Renseignements sur les aéronefs	12
1.7. Conditions météorologiques	14
1.8. Aides à la navigation	14
1.9. Télécommunications	14
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	15
1.11. Enregistreurs de bord	15
1.12. Renseignements sur l'épave et sur l'impact	17
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	26
1.14. Incendie	27
1.15. Questions relatives à la survie des occupants	27
1.16. Essais et recherches	28
1.17. Renseignements sur les organismes	28
1.18. Renseignements supplémentaires	28
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	28
2. ANALYSE	29
2.1. Analyse de la séquence finale du vol	29
2.2. Recherche des causes et de leurs origines	33
2.3. Analyse de la partie du vol postérieure à la collision pour le Mirage 2000	39
2.4. Constatations effectuées dans le domaine de la sécurité survie	41
2.5. Points remarquables non directement liés à l'accident	43
3. CONCLUSION	45
3.1. Eléments établis utiles à la compréhension de l'événement	45
3.2. Causes de l'événement	45
4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE	46
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	46
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	47

GLOSSAIRE

BFM	<i>basic fighter maneuvers</i> - manœuvres de base de combat aérien
DBFM	<i>dissimilar BFM – BFM</i> entre avions différents
EAC	école de l'aviation de chasse
EC	escadron de chasse
EED	élevon extérieur droit
EEG	élevon extérieur gauche
FDR	<i>flight data recorder</i> – enregistreur d'accident
ft	<i>feet</i> - pied
FS	<i>fighting squadron</i> – escadron de chasse
kt	<i>knot</i> – nœud (1 kt \approx 1,852 km/h)
LOPL	<i>local operational procedures</i> - procédures opérationnelles locales
Nm	<i>nautical mile</i> – mille nautique (1 Nm = 1 852 m)
NOSA	navigateur officier système d'armes
PCO	pilote de combat opérationnel
RSAF	Royal Saudi Air Force
SLA	système de largage automatique
VTH	visualisation tête haute

SYNOPSIS

Date et heure de l'événement : samedi 14 janvier 2012 à 14h38 (GMT + 03 h 00)
Lieu de l'événement : environ 110° / 80 Nm de la base de Tabuk (Arabie Saoudite)
Organismes : armée de l'air et Royal Saudi Air Force (RSAF)
Commandement organique : commandement des forces aériennes (CFA) pour le Mirage 2000
Unités : escadron de chasse (EC) 03.011 de Djibouti et 2nd *fighting squadron* (FS) de Tabuk
Aéronefs : Mirage 2000D n° 619 et F15C n° 206
Nature du vol : mission de *basic fighting maneuvers* (BFM)
Nombre de personnes à bord : 2 dans le Mirage et 1 dans le F15

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Pendant l'exercice GREENSHIELD 2012, une patrouille composée d'un Mirage 2000D français et d'un F15C de la RSAF effectue une mission de *BFM*¹ dans l'est de la base aérienne de Tabuk. Au cours du troisième engagement, les deux appareils entrent en collision. Les équipages perdent le contrôle de leur aéronef respectif et s'éjectent. Ils seront récupérés sains et saufs par les secours saoudiens et évacués vers l'hôpital militaire le plus proche.

Composition du groupe d'enquête technique :

- Un directeur d'enquête technique du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air).
- Un enquêteur adjoint.
- Un officier pilote ayant une expertise sur Mirage 2000D.
- Un officier mécanicien ayant une expertise sur Mirage 2000D.
- Un médecin du personnel navigant.
- Un officier parachutiste d'essai.

Le groupe d'enquête français a élaboré les causes et conclusions conjointement avec la commission d'enquête saoudienne, composée de façon similaire à l'équipe française. Il a cependant été convenu avec le président de la commission que chaque partie rédigerait un rapport indépendant. Les recommandations présentées dans ce rapport portent sur des points n'intéressant que la partie française.

Autres experts consultés :

- Bureau enquête et analyse (BEA) – département restitution.
- Direction générale de l'armement (DGA) / CEPR - département RESEDA.
- THALES communication and security (TCS).
- THALES airborne systems (TAS).
- MARTIN BAKER.
- Institut de recherches biomédicales des armées (IRBA).

¹ *basic fighter maneuvers* – mission de combat à vue à 2 avions.

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air a été prévenu le samedi 14 janvier à 16h30 (heure française). En l'absence d'EPI sur site, le détachement français a été chargé d'entreprendre les premières actions d'enquête technique et de recueillir les premiers témoignages.

Le groupe d'enquête, à l'exception du parachutiste d'essai qui n'a été demandé par le directeur d'enquête qu'au retour en France à la lumière des éléments collectés sur site, a quitté le territoire français le 17 janvier au matin pour rejoindre la base de Tabuk le mercredi 18 au matin.

L'armée de l'air saoudienne a également déclenché une enquête technique dont l'équipe est arrivée sur la base de Tabuk le dimanche 15 janvier.

Enquête judiciaire

Le tribunal de grande instance (TGI) de Paris a ouvert une enquête judiciaire.

Un officier de police judiciaire (OPJ) de la section de recherche de la gendarmerie de l'air (SRGA) a été commis.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Indicatif mission: VIKING 04 (M2000) / FLARES 04 (F15)

Type de vol : mission de familiarisation

Type de mission : *BFM*

Dernier point de départ : Tabuk

Heure de départ : 14h00

Point d'atterrissage prévu : Tabuk

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Contexte

La mission se déroule dans le cadre de l'exercice GREENSHIELD 2012, exercice de coopération bilatérale entre les armées de l'air française et saoudienne.

Le détachement Français met en œuvre 3 Mirage 2000D de l'EC 03.011 de la base aérienne (BA) 188 de Djibouti et 3 Rafale de l'EC 03.030 de la BA 104 d'Al Dhafra aux Emirats Arabes Unis (EAU). Pour chacune des flottes, les équipages affectés ont été renforcés par des personnels navigants venus de métropole, dont l'équipage impliqué dans l'accident.

Côté saoudien, l'exercice implique notamment des F15C et des Cougar de la base de Tabuk. Le pilote du F15 est également un renfort et n'appartient pas à l'escadron de la base.



1.1.2.2. Planification et briefings généraux

La planification des vols du samedi est figée dès le mercredi. Il est convenu de confier le "lead" de certaines patrouilles mixtes aux avions français, dont les équipages concernés sont aussitôt informés. La patrouille impliquée dans l'accident entre dans ce cadre.

Deux vagues sont prévues pour le samedi avec des décollages prévus vers 12h et 14h15.

L'accident survient lors du second créneau.

Un briefing sur les procédures locales (LOP - *local operational procedures*) est prodigué à l'ensemble des équipages extérieurs présents sur la base de Tabuk, dont l'ensemble des équipages français.

Un briefing général sur les scénarios, les règles d'engagement et les règles de sécurité est programmé le samedi matin avant le départ de la première vague.

1.1.2.3. Préparation du vol

Trois briefings sont effectués le jour J : 1 "mass brief²", 1 briefing patrouille et un briefing équipage.

Le briefing général, présenté au sein du 2nd FS est l'occasion de modifier les distances minimales entre aéronefs pendant les combats à vue. En effet, les règles en vigueur au sein de la RSAF autorisent des distances minimales de 500 pieds (150 m) alors que les règles françaises fixent cette limite à 1 000 pieds (300 m). Les limites les plus contraignantes prévalant toujours, c'est cette dernière valeur qui est retenue.

A l'issue, les équipages effectuent les briefings internes des patrouilles.

Convaincu que le pilote saoudien possède une qualification équivalente à celle française de pilote de combat opérationnel (PCO), le pilote du Mirage 2000 prodigue un briefing similaire à celui qu'il ferait en France.

En fait, même s'il est très proche d'être PCO, l'équipier n'est toujours qu'équipier simple. Cette situation sera comprise vers la fin du briefing qui ne sera pas adapté.

Enfin, pendant le briefing équipage du Mirage, le pilote demande au navigateur de ne pas le surcharger avec les annonces prévues pendant la *BFM* (altitude, plancher, Vi, etc).

Une rapide collation est prise avant de partir à l'avion.

Avant de monter à bord, le NOSA demande aux mécaniciens de régler le harnais sur la position petite taille.

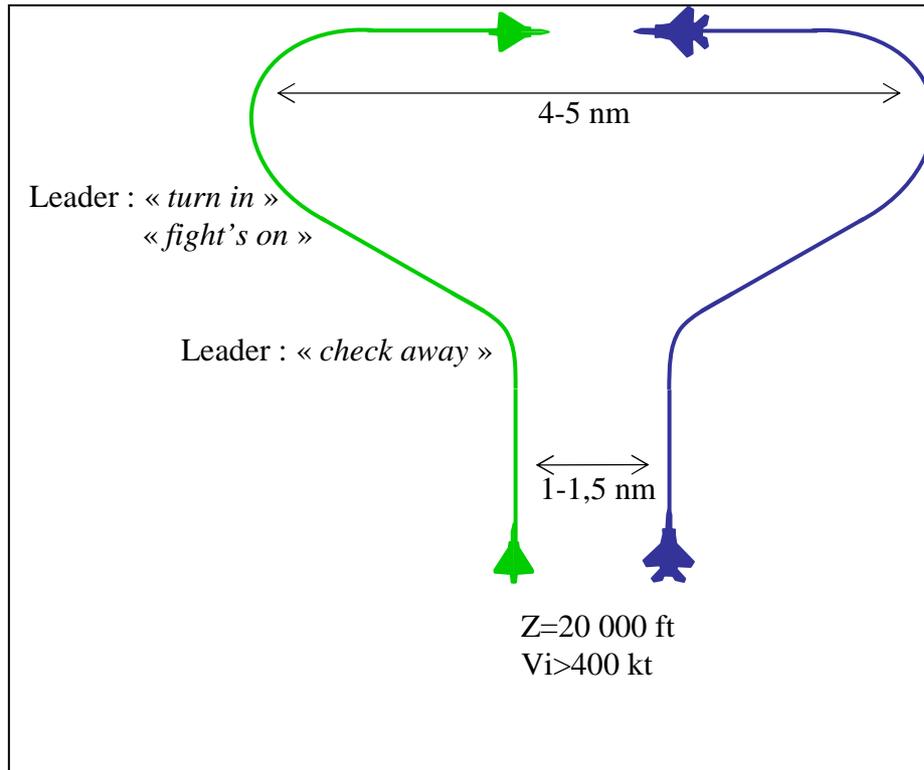
1.1.2.4. Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'événement

La patrouille décolle et transite vers la zone de travail, conformément au briefing.

Les appareils débutent la mission par deux présentations avec un des avions en position défensive, les rôles s'inversant entre les deux engagements.

A 14h34 min 25 s, les appareils débutent la troisième présentation, de type "*high aspect BFM*" conformément au schéma ci-dessous.

² Briefing général auquel assiste l'ensemble des participants aux missions.



Présentation de type "high aspect BFM"

A partir de l'annonce "*turn in*", les appareils peuvent évoluer sans aucune restriction jusqu'au plancher de la zone, à 11 000 ft AMSL, soit environ 7 000 ft/sol.

Environ 1 min 30 s après le début de l'engagement, les 2 appareils entrent dans une phase de combat en ciseaux basse vitesse. Après plusieurs renversements de sens de virage, la trajectoire du F15 semble l'amener à dépasser le Mirage 2000 par la droite, environ 2 000 ft plus bas, lui permettant éventuellement de pouvoir se replacer en position offensive. Le pilote du Mirage 2000 n'arrête alors pas l'engagement et décide de tenter une dernière manœuvre pour reprendre l'ascendant sur le F15.

Le Mirage entreprend alors une barrique nez bas pour couper dans la trajectoire du F15, qui lui, initie une manœuvre visant à le faire revenir derrière le Mirage.

Au cours de ces manœuvres respectives, les 2 avions entrent en collision.

1.1.3. Localisation

- Lieu :
 - pays : Arabie Saoudite
 - coordonnées géographiques : environ 110°/80 Nm de la base de Tabuk
 - hauteur / altitude du lieu de l'événement :
- Moment : jour
- Aéroport le plus proche au moment de l'événement : base de Tabuk

1.2. Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles			
Graves			
Légères	3		
Aucune			

1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
M 2000D n° 619		X		
F15C n° 206		X		

1.4. Autres dommages

Sans objet.

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1. Pilote commandant de bord

- Sexe : masculin
- Age : 28 ans
- Unité d'affectation : EC 01.003
- Fonction dans l'unité :
 - adjoint au chef du pilier tactique
 - officier de guerre électronique (OGE)
 - formateur Liaison 16
- Formation :
 - qualification : sous chef de patrouille le 01 juillet 2011
 - école de spécialisation : école de l'aviation de chasse (EAC) 00.314 de Tours
 - année de sortie d'école : brevet de pilote en mai 2007

- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tous types	dont sur (type d'avion concerné)	sur tous types	dont sur (type d'avion concerné)	sur tous types	dont sur (type d'avion concerné)
Total (h)	1 012h	583h	133h	133h	02h30	02h20
Dont nuit	121h	90h	17h	17h		

- Date du dernier vol comme pilote :

- de jour : 04 janvier 2012
- de nuit : 21 novembre 2012
- *BFM* : 15 juin 2011

- Carte de circulation aérienne

- type : norme verte
- date d'expiration : 18 mars 2012

1.5.1.2. Navigateur

- Age : 26 ans

- Sexe : féminin

- Unité d'affectation : EC 01.003

- Fonction dans l'unité : cellule préparation de mission

- Formation :

- qualification : sous chef navigateur
- école de spécialisation : EAC 00.314 de Tours
- année de sortie d'école : brevet de navigateur en septembre 2007

- Heures de vol comme navigateur :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Dont sur (type d'avion concerné)	Sur tous types	Dont sur (type d'avion concerné)	Sur tous types	Dont sur (type d'avion concerné)
Total (h)	1 082h	655h	112h	112h	02h10	02h10
Dont nuit	170h	141h	19h	19h		

- Date du dernier vol :

- de jour : 04 janvier 2012
- de nuit : 21 septembre 2011
- *BFM* : 23 mai 2011

1.5.1.3. Pilote du F15

Le pilote du F15 est apte toutes missions sur le territoire saoudien. Il est équipé hors du territoire.

Il compte environ 200h de F15 au moment de l'accident.

Il est à jour de tous les contrôles périodiques requis par la RSAF. C'est particulièrement le cas de la *BFM* dont la pratique régulière est suivie.

1.6. Renseignements sur les aéronefs

1.6.1. Renseignements sur le Mirage 2000

- Organisme : armée de l'air
- Commandement organique d'appartenance : commandement du soutien des forces aériennes (CSFA)
- Base aérienne de stationnement : BA 188 – Djibouti
- Unité d'affectation : escadron de chasse 03.011
- Type d'aéronef : Mirage 2000D
 - configuration : 1 réservoir pendulaire ventral de 1 300 l
 - armement : 1 missile MAGIC2 au point 2G et un lance-missile au point 2D
- Caractéristiques :

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis	Heures de vol depuis	Heures de vol depuis
Cellule	M2000 D	619	2 734h45	GV1 ³ : 460h15	VP2 ⁴ : 1 455h35VP	VP1 : 2 217h05
Moteur	SNECMA M53-P2	60 394	3 606h57	Sans objet ⁵		

1.6.1.1. Maintenance

L'appareil est affecté à Djibouti depuis le 08 juin 2011.

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

La dernière visite de graissage date du 06 décembre 2011 et n'a révélé aucune anomalie.

³ GV = grande visite.

⁴ VP = visite périodique.

⁵ Le M53-P2 est un moteur modulaire. Les RG sont effectués par module et par pièce de manière différenciée.

1.6.1.2. Performances

L'appareil ne fait l'objet d'aucune restriction d'emploi et les performances sont dans les normes.

1.6.1.3. Masse et centrage

La masse de l'appareil au moment de l'accident est estimée à environ 10 t et le centrage est dans les normes.

1.6.1.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F34
- Quantité de carburant au décollage : 4,1 t
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement estimée 1 800 kg

1.6.1.5. Autres fluides

Sans objet.

1.6.2. Renseignements sur le F15

- Organisme : royal saudi air force
- Base aérienne de stationnement : Tabuk
- Unité d'affectation : 2nd FS
- Type d'aéronef : F15C
 - configuration : lisse
 - armement : 1 missile Sidewinder sous l'aile gauche, 1 pod AIP⁶ sous l'aile droite
- Caractéristiques :

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis
Cellule	F15C	206	5 166h10	Dernière GV 921h30
Moteur G	F100-PW220E	681 900	5 804h10	Dernière révision 139h10
Moteur D	F100-PW220E	682 006	5 916h50	Dernière révision 96h20

⁶ Pod AIP : équipement similaire à un missile permettant l'enregistrement des paramètres de l'avion et leur envoi en temps réel vers une station au sol.

1.6.2.1. Maintenance

L'examen de la documentation technique témoigne d'un entretien conforme aux programmes de maintenance en vigueur au sein de la RSAF.

1.6.2.2. Performances

L'appareil ne fait l'objet d'aucune restriction d'emploi et les performances sont dans les normes.

1.6.2.3. Masse et centrage

La masse et le centrage de l'appareil n'appellent aucune remarque.

1.6.2.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F34
- Quantité de carburant au décollage : estimé à environ 5,7 t
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement estimée : inconnue

1.6.2.5. Autres fluides

Sans objet.

1.7. Conditions météorologiques

Les valeurs suivantes, conformes aux prévisions, sont celles relevées sur la base de Tabuk et sont réputées semblables à celles de la zone de combat :

- vent : 210°, force 5 kt
- visibilité supérieure à 10 km
- pas de nébulosité
- température de 17° C

1.8. Aides à la navigation

Sans objet.

1.9. Télécommunications

Au moment de l'événement, les équipages sont en liaison avec le contrôleur aérien pour la surveillance de zone, et sur une fréquence particulière, pour le travail de la patrouille. Aucun échange radio ne sera effectué sur la fréquence du contrôleur pendant les phases tactiques.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

Sans objet.

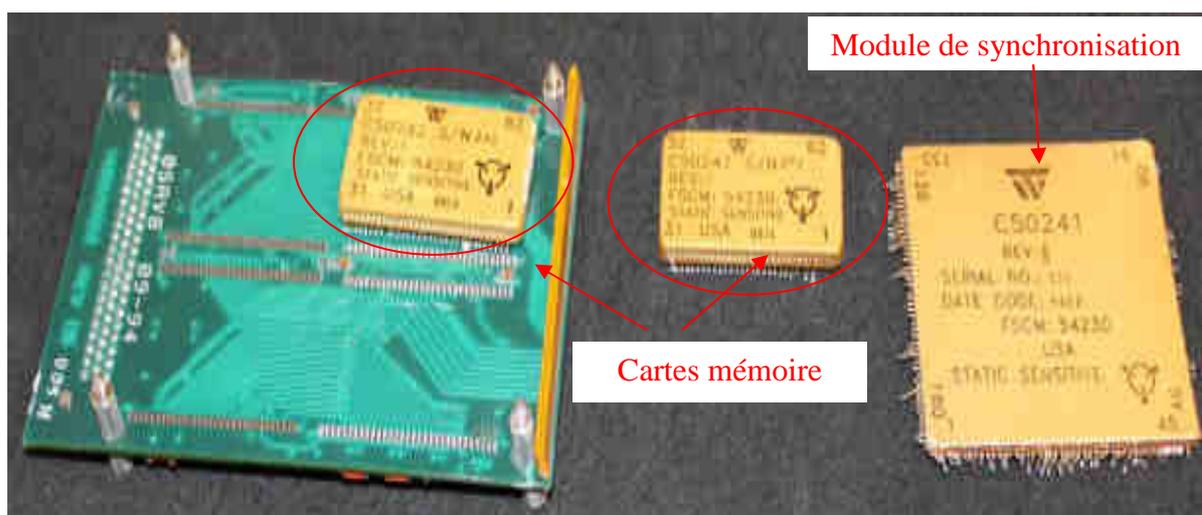
1.11. Enregistreurs de bord

1.11.1. Mirage 2000D

Le Mirage 2000D est équipé d'un enregistreur d'accident à mémoires statiques de type "ESPAR"⁷, qui a été retrouvé dans la zone d'impact. Si l'aspect extérieur de l'enregistreur ne présente pas de déformation visible, il s'est ensuite avéré que les puces mémoires avaient été abimées au cours de l'accident.



Enregistreur avant ouverture

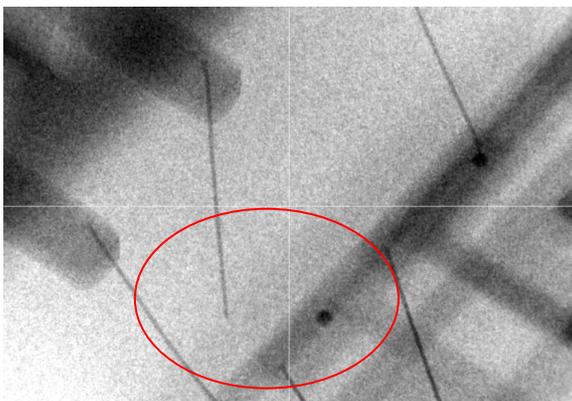


Carte d'enregistrement du FDR après ouverture

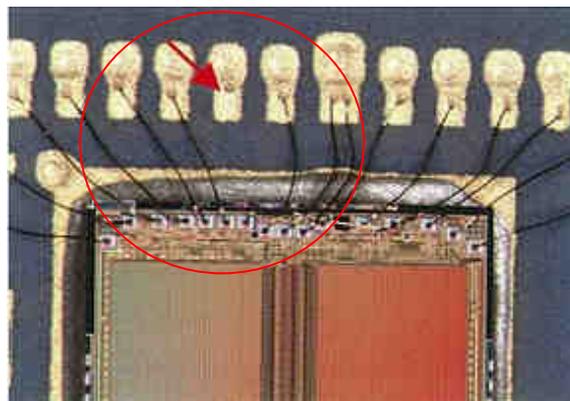
⁷ Enregistreur Statique de PARamètres

Après ouverture, il est constaté qu'une des deux cartes mémoire et la carte de synchronisation sont désolidarisées de la carte mère et que la deuxième carte mémoire est partiellement arrachée.

Suite à l'impossibilité de lire le contenu des 2 cartes mémoires, des analyses aux rayons-X et au microscope ont été réalisées. Elles ont révélé de nombreux endommagements à l'intérieur de chacune des cartes mémoires.



Vue aux Rx d'une connexion rompue vers les broches de jonction extérieures



Vue au microscope d'une connexion rompue d'un micro module mémoire

Les connexions réparées et les mémoires reconditionnées, les données ont pu être lues et exploitées.

La visualisation tête haute (VTH), ainsi que les conversations et signaux sonores, sont enregistrés sur une cassette magnétique au format Hi-8 qui a été détruite pendant l'accident.

1.11.2. F15

Le F15 n'est pas équipé d'enregistreur de paramètres et sa cassette à bande magnétique a été détruite dans l'accident. Toutefois, l'avion était équipé pour la mission d'un POD de restitution tactique enregistrant différents paramètres de trajectographie basée sur la position GPS et les envoyant en temps réel vers une station sol sur la base. Les données émises par le pod sont donc disponibles avec néanmoins un arrêt de transmission à l'heure de la collision : 14h38 min 20s. Il a donc été possible de restituer la trajectoire du F15 avec une précision suffisante dans le cadre de cette enquête. Ce système ne permet pas de savoir si une panne est apparue avant l'accident ou si l'avion a répondu correctement aux sollicitations du pilote.

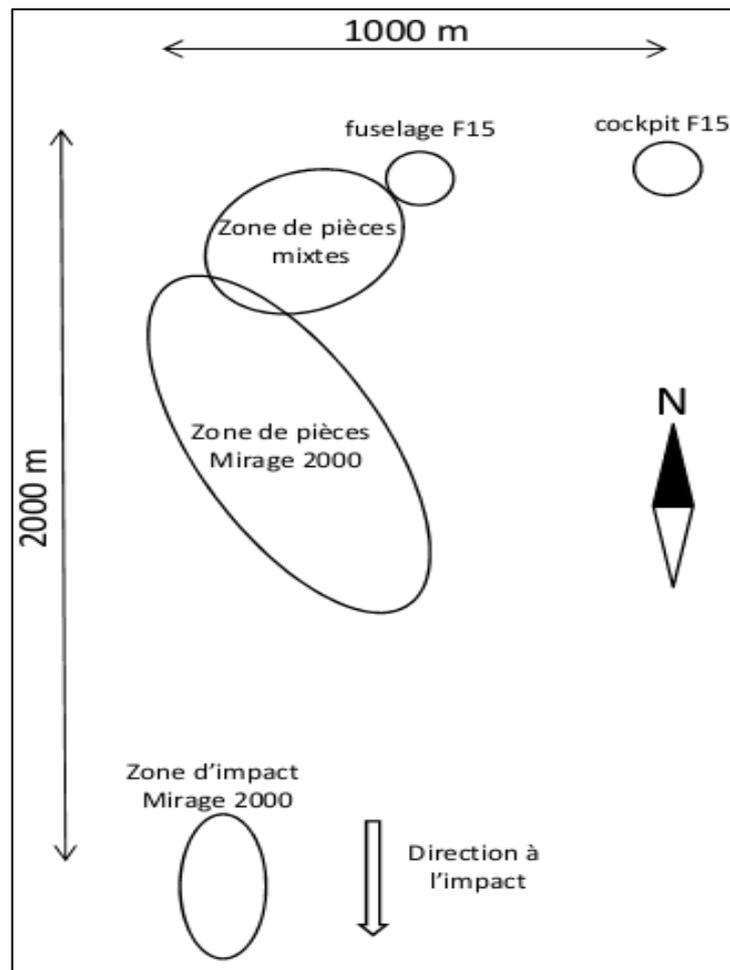
Par ailleurs, l'arrêt de transmission des paramètres après l'impact ne nous a pas permis de reproduire le comportement du F15 à l'issue.

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

1.12.1. Examen de la zone

L'ensemble des débris est réparti sur 5 zones principales :

- le cockpit du F15 qui représente l'une des extrémités de la zone ;
- la cellule du F15 séparée de 600 m du cockpit ;
- une zone avec un mélange d'éléments des 2 appareils encore décalée d'environ 300 m ;
- une zone avec des pièces provenant exclusivement du Mirage 2000 ;
- la zone de crash du Mirage 2000 qui se situe à l'autre extrémité du champ de débris.



Répartition des débris

1.12.2. Examen de l'épave du F15



Vue générale de la zone de crash du F15

L'appareil est séparé en 2 parties distantes d'environ 700 m, sensiblement dans l'est de la zone de pièces communes. L'avion s'est donc brisé en 2 après la collision, sans qu'il soit possible de définir précisément à quel instant puisque l'émission de données par le pod AIP du F15 s'arrête immédiatement après collision.

1.12.2.1. Cockpit du F15



Cockpit du F15



Cockpit du F15 vu de l'arrière

L'impact au sol a été faiblement énergétique car il n'y a aucune projection d'élément. La déchirure s'est produite juste derrière la verrière, au niveau de la bouche d'évacuation d'air chaud, entre les 2 entrées d'air.

1.12.2.2. Cellule du F15

Elle se trouve à environ 700 m à l'ouest de la cabine, orientée vers l'est.



Vue d'ensemble de la cellule du F15

La cellule est tombée sensiblement à plat sur le ventre sans vitesse horizontale, et sans grande vitesse car il n'y a eu que peu d'éléments projetés, à savoir les 2 dérives à moins de 100 m. La cellule a brûlé à l'exception d'un morceau de l'aile droite et du plan horizontal droit. Outre la cabine, l'élément manquant principal est l'entrée d'air droite qui se trouve dans la zone des pièces communes à quelques centaines de mètres de la cellule du F15. Quelques petits morceaux appartenant au Mirage 2000, sans qu'il soit possible de les identifier, ont également été retrouvés près de la cellule.

1.12.3. Examen de la zone de pièces communes

Une zone, partant de la cellule du F15 vers le sud pour quelques centaines de mètres, contient des éléments appartenant aux 2 avions.

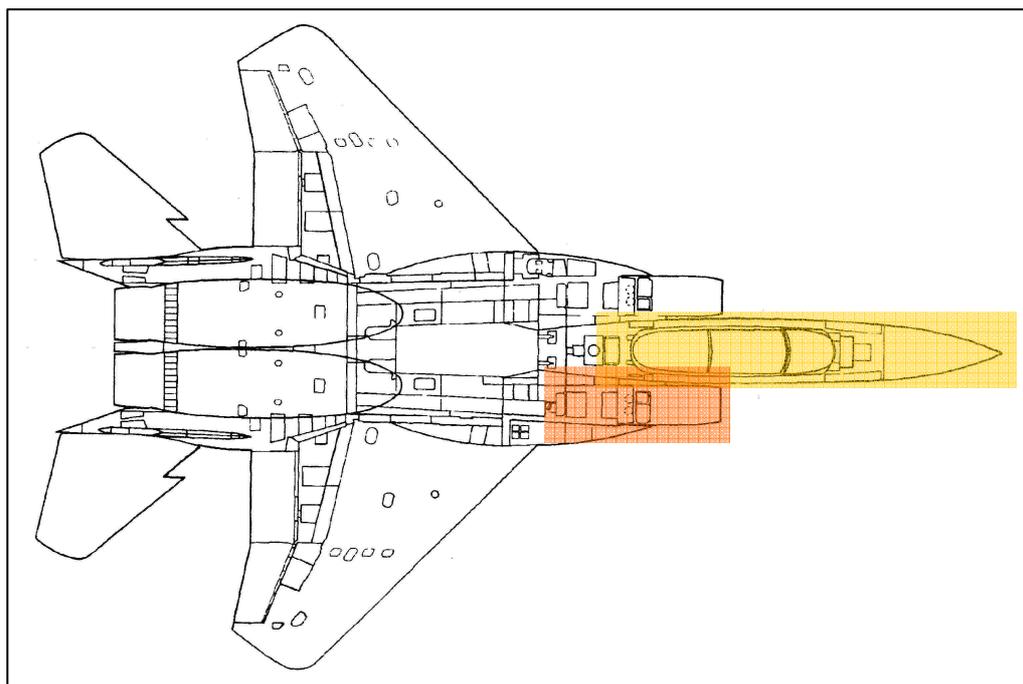
Cette zone est révélatrice des éléments qui sont entrés en contact entre les 2 appareils. Elle aide à représenter la collision.

1.12.3.1. Pièce du F15

Outre quelques morceaux de canalisation, la principale pièce du F15 retrouvée dans cette zone est l'entrée d'air droite.



Vue générale de l'entrée d'air droite du F15



Parties détachées du fuselage

1.12.3.2. Pièces du Mirage 2000

Dans la zone commune, de nombreux débris de Mirage 2000 ont été retrouvés, appartenant à l'aile droite et à la partie arrière droite inférieure de l'avion. Les morceaux suivants de l'aile droite ont été retrouvés :



Bloc goniométrique droit



Servocommande de l'élevon externe droit



Morceaux d'élévon externe



Saumon droit



Moitié arrière du lance-missile 2255 droit

Le bloc goniométrique, saumon et le lance-missile présentent des traces de peinture bleue qui correspond à la peinture d'apprêt du F15. Des marques très prononcées d'enfoncement et déchirement sont visibles sur le bloc goniométrique et le lance-missile.

Plusieurs débris de la partie arrière ont été retrouvés. Ils proviennent tous du carénage de la tuyère.



Vues des débris du carénage de tuyère

Le carénage de tuyère, a été retrouvé dans son intégralité. Le repositionnement des 3 fragments révèle un enfoncement dans sa partie inférieure droite.

1.12.4. Examen de la zone de pièces de Mirage 2000

Cette zone contient des éléments qui correspondent également à ceux endommagés lors de l'impact.



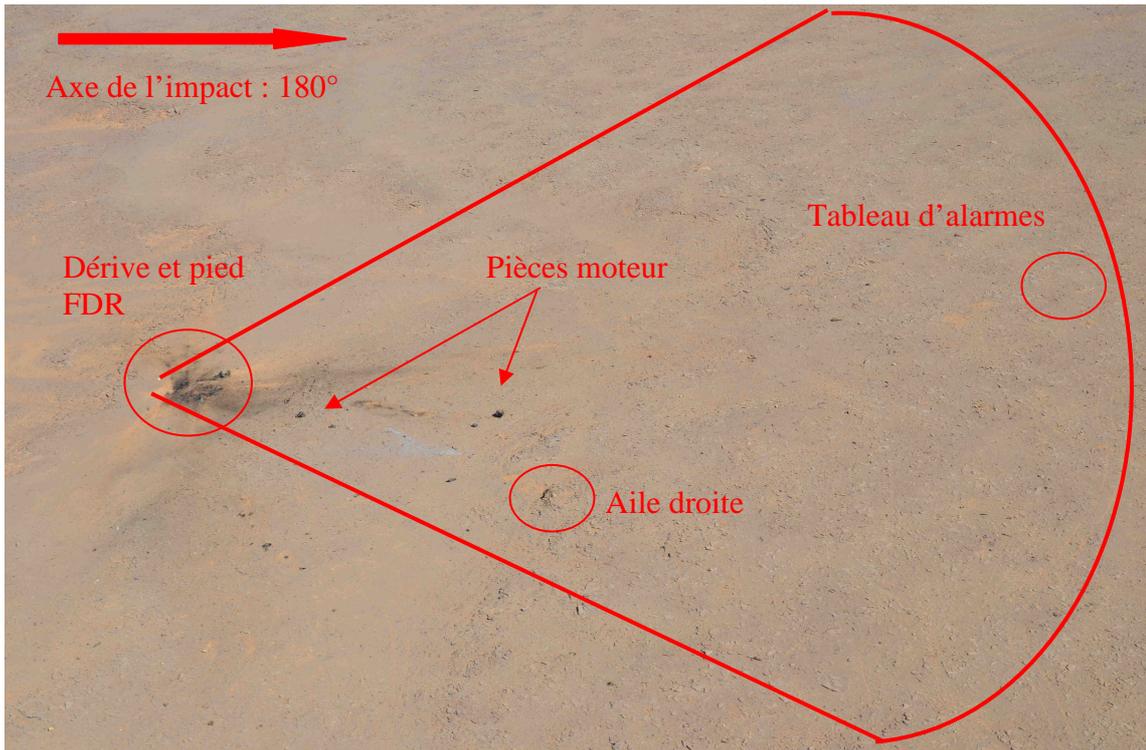
Partie avant du LM 2255



Tuyère

Les principales pièces retrouvées dans ce secteur sont la partie avant du lance-missile droit et la tuyère. Cette dernière est enfoncée dans sa partie inférieure gauche.

1.12.5. Examen de la zone de crash du Mirage 2000



Vue générale de la zone du Mirage 2000

La zone de débris s'étend sur environ 700 m et contient majoritairement des éléments de très petites dimensions à l'exception de l'aile droite, de la dérive, du pied de dérive et de modules du moteur.

Le tableau d'alarmes est retrouvé à l'extrémité de la zone et ne peut pas être exploité.

L'enregistreur de vol a été retrouvé à proximité du point d'impact.

La dérive est retrouvée entière avec le drapeau, montrant qu'elle n'a pas été touchée pendant la collision.



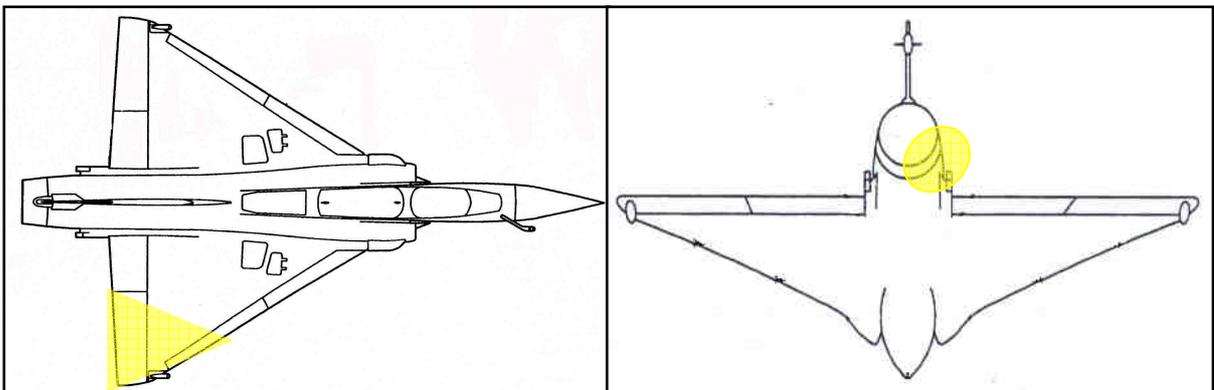
Pied de dérive et drapeau



Restes de l'aile droite

L'aile droite montre que l'élevon intérieur droit est toujours présent. Les fragments de carbone manquant sont retrouvés à proximité.

Cela permet d'estimer la partie arrachée au Mirage lors de la collision.



Endommagements présumés sur le Mirage 2000 lors de la collision

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Pilote français

- Dernier examen médical :
 - type : examen annuel au CPEMPN de l'hôpital d'instruction des armées (HIA) de Percy
 - date : 27 octobre 2011
 - résultat : apte
 - validité : un an
- Examens biologiques : effectués et négatifs
- Blessures :
 - fracture tassement de deux vertèbres, entraînant une inaptitude médicale de plusieurs semaines
 - entorse de la cheville gauche
 - ecchymoses multiples

1.13.2. Navigateur français

- Dernier examen médical :
 - type : examen annuel au CPEMPN de l'HIA de Percy
 - date : 24 octobre 2011
 - résultat : apte
 - validité : un an
- Examens biologiques : effectués et négatifs
- Blessures :
 - fracture et tassement antérolatérale droite du segment supérieur d'une vertèbre, entraînant une inaptitude médicale de plusieurs semaines
 - divers plaies et ecchymoses

1.13.3. Pilote saoudien

- Dernier examen médical :
 - type : *medical examination for flying*
 - date : 17 septembre 2011
 - résultat : apte
 - validité : un an
- Examens biologiques : effectués et négatifs
- Blessures :
 - douleur et tuméfaction de l'épaule et du bras droits

1.14. Incendie

Sans objet.

1.15. Questions relatives à la survie des occupants

Seule l'éjection de l'équipage français est analysée.

1.15.1. Abandon de bord

- Éjection :

- type de siège éjectable : Martin Baker Mk10

Sur un plan morphologique, le navigateur est en limite basse du poids tout en restant dans le domaine d'emploi du siège.

- L'analyse de l'enregistrement du FDR ne permet pas de déterminer précisément l'instant de l'éjection. A l'heure estimée de celle-ci, les paramètres sont les suivants :

- hauteur : 5 000 ft
- vitesse : 240 kt
- vitesse de rotation : 150°/s par la droite
- assiette : 60° à piquer
- vent au sol très faible

- Déroulement de l'éjection :

- l'équipage reste conscient pendant l'éjection et perçoit la chute du F15 sans pouvoir visualiser l'éjection du pilote saoudien ;
- le pilote perd sa chaussure gauche et ne parvient à garder l'autre que de justesse ;
- les sièges se détachent correctement ;
- sous voile, le pilote est initialement au dessus du navigateur et passe rapidement en dessous dans une spirale descendante avec trajectoire conflictuelle ;
- seul le paquetage du navigateur s'est ouvert, le paquetage du pilote ne s'est pas détaché ;
- le navigateur marche sur la voile du pilote. La sangle du paquetage du navigateur touche la voile du pilote. Ils parviennent finalement à se séparer ;
- le pilote décide de se poser sur le seul pied équipé d'une chaussure. Il se blesse à la cheville et sa tête heurte durement le sol ;
- lors de la réception au sol, le navigateur impact avec son genou droit ;
- le navigateur atterrit à quelques dizaines de mètres de son pilote et le rejoint.

1.15.2. Organisation des secours

La collision a lieu à 14h38 min15 s et les éjections ont lieu quelques secondes plus tard sans qu'aucun des membres d'équipages ne puisse effectuer une annonce radio à l'attention du contrôleur. Ce dernier, conformément aux procédures en vigueur au sein de la RSAF, déclenche l'alerte 5 minutes après la disparition des contacts radar.

Vers 15h00, le détachement français prend contact avec le contrôle aérien saoudien pour signaler qu'un Mirage 2000D est « manquant ».

Vers 16h00, un F15 Saoudien décolle pour survoler la zone d'exercice et trouver trace des 2 appareils. Parallèlement, ordre est donné à l'hélicoptère SAR (de type Bell 204 UH-1) de décoller. Son envol a lieu à 16h25. Il emporte à son bord 2 *flight surgeon* (médecins) de la RSAF.

Les épaves sont localisées par le F15 à 16h30 et le contact radio effectué avec les équipages.

A 16h35, le chef des opérations saoudien autorise le médecin français à rejoindre l'hôpital militaire (King Abdulaziz Military Hospital de Tabuk) pour la prise en charge des personnels navigants français.

Vers 17h30, l'hélicoptère SAR débute la récupération des équipages en commençant par les 2 français. Il n'y a que 2 civières à bord et sur sa demande, c'est le NOSA qui ne sera pas rapatrié en position allongée. A 18h45, l'hélicoptère dépose sur la base de Tabuk les 3 membres d'équipage, qui seront conduits quelques minutes plus tard vers l'hôpital.

Le médecin français est présent tout au long de la prise en charge.

Le bilan médical initial se termine vers 22h30 et les trois blessés sont hospitalisés jusqu'au 16 janvier.

L'équipage français est évacué par voie aérienne militaire (VAM) le samedi 21 janvier pour être dirigé vers le HIA Percy de Paris.

1.16. Essais et recherches

Sans objet.

1.17. Renseignements sur les organismes

Sans objet.

1.18. Renseignements supplémentaires

Sans objet.

1.19. Techniques spécifiques d'enquête

Restitution et comparaison de deux sources de données relatives aux trajectoires.

2. ANALYSE

L'analyse qui suit s'attache à détailler les causes de la collision entre les 2 appareils. Elle s'appuie principalement sur :

- l'exploitation de l'enregistreur de vol du Mirage 2000 ;
- l'exploitation du système de restitution du F15 ;
- les témoignages des membres d'équipages.

Elle s'articule en cinq parties :

- l'analyse détaillée de la fin du vol permettant de déterminer la séquence de l'événement ;
- la recherche des causes de la collision en vol ;
- la « survivabilité » du Mirage 2000 à la collision ;
- l'analyse des points particuliers concernant le domaine sécurité survie ;
- l'analyse de points remarquables non directement liés à l'événement.

2.1. Analyse de la séquence finale du vol

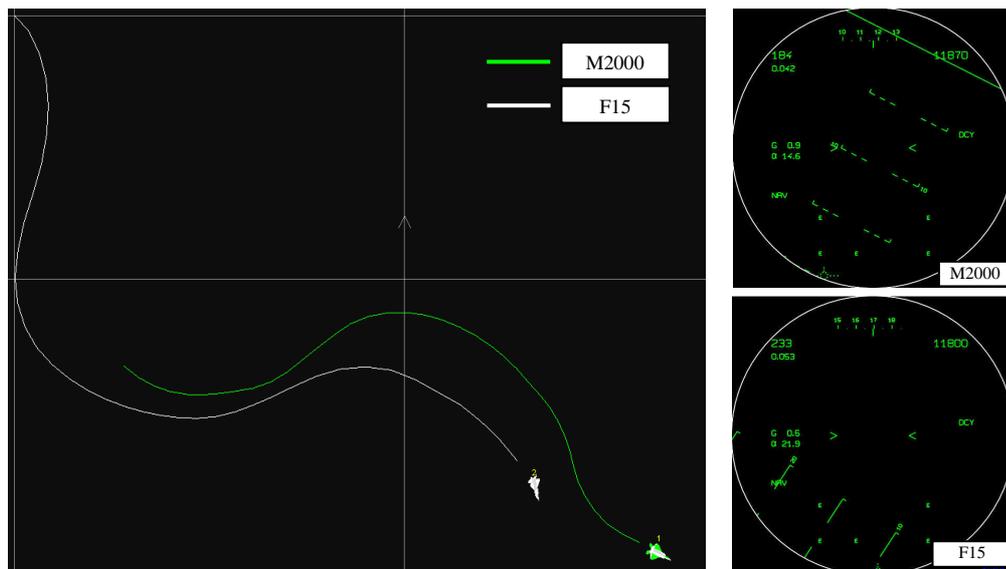
Le troisième engagement débute à 14h34 min 15 s (annonce "check away"). La séparation s'effectue à 20 000 ft et 400 kt.

Après l'annonce "turn in", le F15 accélère vers 450 kt alors que le Mirage maintient 400 kt. Le croisement a lieu à 14h35, toujours aux alentours de 20 000 ft.

1 min 30 après le croisement initial, les 2 appareils entrent dans une phase de combat basse vitesse en ciseaux, le Mirage 2000 étant en position défensive.

Cette phase de ciseaux dure environ 1 min 30, à des vitesses comprises entre 120 et 150 kt pour les 2 appareils, et à une altitude variant autour de 12 000 ft.

A 14h37 min 25 s l'alarme "BINGO", réglée à 2 t de carburant restant, sonne dans le Mirage. Les avions sont dans la situation suivante :



Trajectographie horizontale les 30 s avant 14h37 min 25 s et synthèse des attitudes des avions

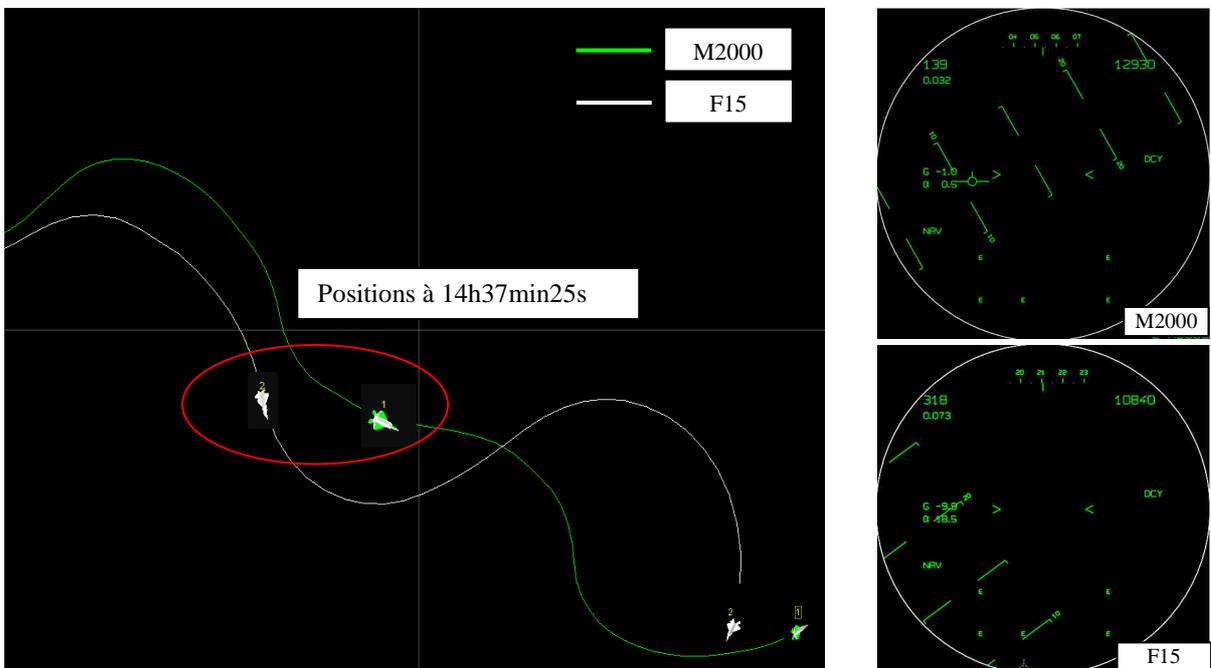


Positions relatives vues des 2 appareils à 14h37 min 25 s

A 14h37 min 55 s, après deux renversement de virage supplémentaire, il s'apprête à annoncer la fin du combat quand il voit le F15 passer franchement dessous, derrière et divergent, ce qui est perçu comme étant un "overshoot" de sa part. Le pilote du Mirage entrevoit alors un changement dans le combat et une opportunité de reprendre une situation avantageuse.

A cette fin, à 14h37 min 58 s, il initie une manœuvre de type barrique par la gauche, nez bas, afin de creuser à l'intérieur de la trajectoire du F15 pour reprendre l'offensive. Le visuel est donc perdu, comme pendant 30 % du temps lors de phase de combat en ciseaux, ce qui n'est pas un problème tant que l'autre appareil maintient le visuel.

La manœuvre de barrique engagée par le Mirage permet, en plus de permettre éventuellement de reprendre l'avantage sur le F15, de rapidement réacquérir le visuel.



Trajectographie horizontale à 14h37 min 58 s



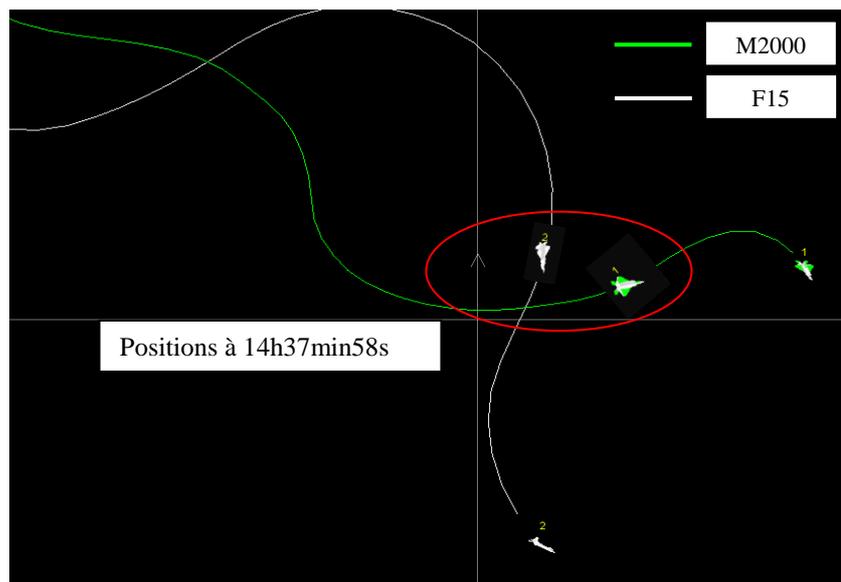
Positions relatives à 14h37 min 58 s

La barrique est initiée vers 13 000 ft et 140 kt. La pente atteindra environ 50° à piquer au plus fort. Le visuel est réacquis quelques secondes plus tard par l'équipage du Mirage 2000.

Dans le même temps, le F15 cabre franchement pour diminuer sa vitesse et referme par la gauche pour rechercher à se replacer à nouveau derrière le Mirage.

Le plancher de combat approche alors très vite pour le Mirage ce qui amène le pilote, vers 14h38 min 05 s à interrompre la barrique et à effectuer une ressource les ailes à plat, et non plus en poursuivant sa rotation visant à amener son nez vers le F15. L'attention de l'équipage est alors focalisée sur la surveillance de l'altimètre et le pilotage de l'aéronef. Le visuel est donc perdu par les deux membres alors que le F15 est sensiblement secteur 2h, en montée et sur la tranche incliné à gauche. Les témoignages montrent que ce renversement de virage n'est pas perçu par l'équipage.

La distance entre les 2 appareils est alors d'environ 2 500 m.



Trajectographie horizontale à 14h38 min 05 s



Position relative à 14h38 min 05 s

A partir de cet instant, le Mirage maintiendra un cap sensiblement 160° et une vitesse stable d'environ 200 kt. Il poursuit sa ressource et stoppe sa descente à 11 000 ft à 14h38 min 12 s. Pendant cette ressource, le NOSA recherche le F15 sans succès, pour reporter son regard en cabine lorsque le pilote annonce la stabilisation au plancher.

Dans le même temps, le F15 poursuit sa descente sans modifier sa cadence à la profondeur bien que le Mirage arrête de changer de cap et de vitesse. Dès lors, le relèvement entre les deux appareils reste alors sensiblement constant.

A 14h38 min 12 s, une fois le plancher assuré, le pilote recherche le F15 sur un secteur 12h pendant que le NOSA reporte son regard sur un secteur 2h. Dans l'instant, soit 3 ou 4 secondes environ avant la collision, le NOSA découvre le ventre du F15, très proche en descente et l'annonce au pilote qui tourne la tête pour le découvrir à son tour.

Ce dernier voit le F15 proche de la tranche à droite et l'entrée d'air droite. Il est tétanisé. Alors qu'il pense n'avoir entrepris aucune action aux commandes, l'enregistreur de vol montre qu'il incline l'avion à gauche jusqu'à atteindre 40° au moment de l'impact.

De son côté, à ce même horaire, le pilote du F15 se rend compte de la collision toute proche et applique des ordres maximaux en profondeur et en gauchissement vers la droite.

La collision se produit à 14h38 min 15 s. Le choc est faible dans le Mirage 2000 et le ressenti par le pilote est de l'ordre de la turbulence.



Positions relatives peu avant la collision

Le pilote du F15 a alors le sentiment de partir en vrille à plat et de n'avoir aucune efficacité aux commandes. Il s'éjecte quelques secondes après.

Le Mirage 2000, quand à lui, s'incline rapidement sur la gauche jusqu'à être sur le dos puis repart par la droite pour s'installer dans ce qui est perçu comme un auto-tonneau par le pilote. Ce dernier vérifie le bon fonctionnement du moteur pour trouver les paramètres incohérents et tente de contrer la rotation sans succès. Il estime la hauteur à environ 5 000 ft et ordonne l'éjection après s'être assuré que le NOSA était prêt.

La collision en vol entre les 2 appareils trouve son origine dans une erreur de trajectoire du pilote du F15, conjuguée à une perte de visuel de l'équipage du Mirage 2000 qui ne peut alors mener une action pour éviter l'impact.

Les conditions météorologiques étaient excellentes sur la zone et le soleil ne se trouvait pas sur un relèvement de nature à gêner l'acquisition du visuel entre les 2 appareils ou son maintien dans les instants précédant la collision.

Le FDR du Mirage 2000 montre qu'à tout instant avant la collision, le moteur et les commandes de vol fonctionnaient parfaitement. L'avion a donc toujours été pilotable pendant la phase de vol conduisant à l'accident.

De même, le pilote du F15 ne témoigne d'aucun dysfonctionnement de son appareil qui a également, d'après lui, toujours répondu correctement à ses sollicitations.

La cause de l'accident n'est donc pas du domaine environnemental ou technique.

Les erreurs et leurs origines doivent être recherchées dans les domaines du facteur humain et organisationnel.

2.2. Recherche des causes et de leurs origines

2.2.1. Erreur de gestion de la trajectoire du F15

Lors d'un combat à vue, la gestion de la trajectoire s'appuie sur une combinaison de paramètres qui sont principalement :

- la connaissance ou l'estimation des capacités de manœuvre de son avion à tout moment ;
- l'évaluation de la distance et de la trajectoire de l'autre appareil ;
- l'estimation des capacités de manœuvre de l'autre avion pour appréhender ses trajectoires futures possibles ;
- le respect des règles de sécurité (distances minimales, sens d'évitement...).

Le pilote saoudien est parfaitement entraîné à la mission de *BFM* qu'il pratique très régulièrement au sein de son unité, spécialisée dans la mission de défense aérienne.

De plus, la manœuvre qu'il exécute est très simple à réaliser et ne requiert donc pas de compétence particulière, d'autant qu'à aucun moment il ne perd le visuel sur le Mirage.

Au cours de cette mission, la phase finale du troisième engagement est la seule où il va devoir réagir rapidement à une situation dangereuse d'un point de vue tactique. Cette pression temporelle peut l'inciter à se fonder sur sa seule expérience.

Le pilote saoudien n'a jamais pratiqué de mission contre d'autres avions que le F15C.

Son expérience n'est donc fondée que sur :

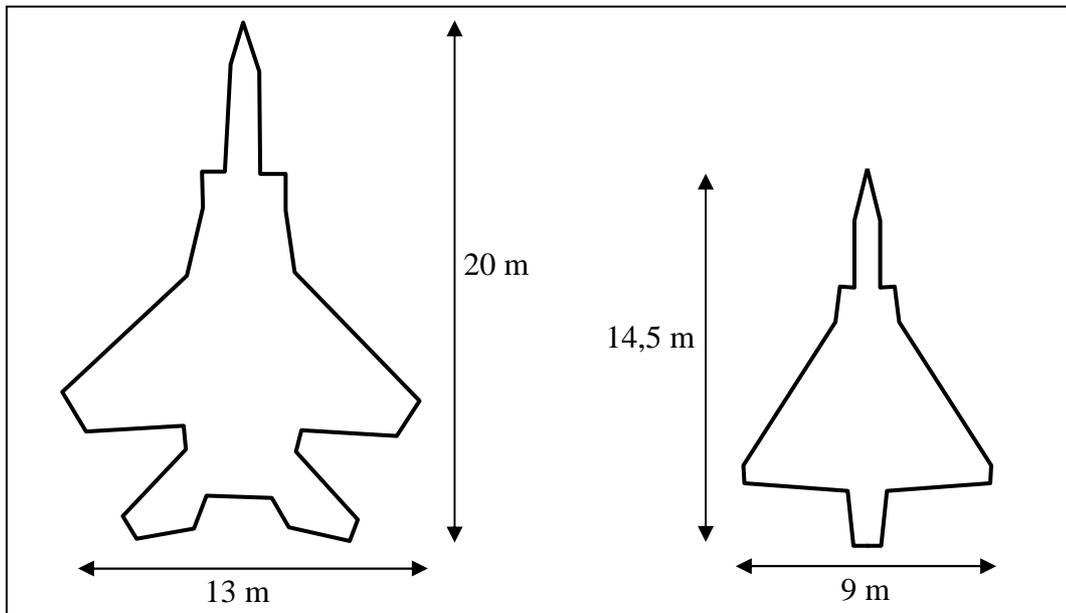
- un avion dont les dimensions sont supérieures d'environ 40 % à celles d'un Mirage ;
- des distances de séparation de 150 m alors qu'elles sont de 300 m lors de la mission ;
- des capacités manœuvrières moindres que celles du Mirage.

2.2.1.1. Erreur d'estimation de la distance qui le sépare du Mirage 2000

Lorsqu'un objet est situé à plus de six mètres, l'estimation s'effectue principalement à partir d'indices tels que la taille relative ou familière de l'objet, l'occultation de l'objet par un autre, le gradient de texture, les ombres...

L'estimation de la distance est réalisée par la combinaison des différents indices et ajustée en fonction des connaissances du sujet sur l'objet et l'environnement ainsi qu'en fonction de ses propres mouvements (variations des indices).

Dans les conditions de vol de l'accident (trajectoires convergentes en plein ciel sur fond uniforme et monochrome), le seul indice visuel exploitable pour estimer la distance était la taille relative.



Dimensions relatives des 2 appareils

Les dimensions du F15 sont sensiblement supérieures de 40 % à celles du Mirage 2000 en longueur et largeur. Ainsi, pour une taille perçue de l'aéronef identique, la distance réelle du M2000D sera plus faible d'un tiers environ que celle d'un F15, quel que soit l'angle sous lequel il est vu.

N'ayant toujours volé que contre d'autres F15, le pilote a probablement construit dans sa mémoire à long terme une association entre une taille perçue de l'aéronef et l'estimation de sa distance. Cela n'est pas adapté pour un aéronef de taille différente.

L'hypothèse que le pilote du F15 a subi une illusion perceptive et surestimé sa distance par rapport au Mirage 2000 est probable.

2.2.1.2. Absence de prise en compte de la nouvelle distance de sécurité

Au cours de l'exercice, les règles de sécurité imposent une séparation minimale de 300 m entre les avions. Le pilote saoudien a toujours réalisé ses missions de BFM avec une séparation minimale de 150 m. Il est donc possible que lors de sa manœuvre, il ait géré le respect de la bulle de sécurité en se référant à ses repères habituels. Ainsi, au lieu de piloter une trajectoire lui permettant de passer à 300 m du Mirage, il a pu le faire en recherchant ses repères de 150 m.

L'hypothèse que le pilote ait recherché les repères visuels habituels d'une distance de séparation de 150 m est possible.

Lorsque les deux hypothèses évoquées supra sont réunies, la distance réellement prise en compte serait de seulement 100 m, ce qui réduit considérablement la marge d'erreur dans la gestion de la trajectoire.

2.2.1.3. Erreur de technicité

Le témoignage du pilote saoudien indique qu'il n'a travaillé qu'en utilisant le relatif en phase finale et donc sans contrôler sa propre attitude à l'aide de ses paramètres. Ce que valide son témoignage dans lequel il décrit par exemple le fait que le Mirage le percute en montant vers lui, alors qu'en réalité, le Mirage est en palier et le F15 en descente franche.

Ainsi, comme il ne regarde pas l'évolution de son altitude, il ne prend pas conscience de sa propre descente et de l'approche du plancher de combat, et ne s'attend donc pas à ce que le Mirage arrête brutalement de descendre car atteignant l'altitude minimale de combat.

L'absence d'anticipation sur ce changement probable de trajectoire du Mirage a sans doute conduit le pilote du F15 à adopter une trajectoire lui laissant moins de marge de manœuvre car basée sur une mauvaise projection de la trajectoire future de l'autre appareil.

L'hypothèse que le pilote du F15 ait piloté sans contrôler ses éléments de vol et donc sans prendre en compte le changement probable de celle du Mirage est certain.

2.2.1.4. Défaut de représentation mentale des performances du Mirage 2000

Le Mirage 2000 est doté de commandes de vol électriques extrêmement performantes. Entre autres qualités, elles fournissent à l'avion une très grande agilité sur l'axe de tangage. Le F15C utilisé à Tabuk est un ancien modèle qui, s'il est de la même génération que le Mirage, n'est pas doté des mêmes capacités manœuvrières.

S'il ne reçoit pas d'information concernant le Mirage qu'il ne connaît pas, alors le pilote saoudien ne peut se reposer que sur sa seule expérience, limitée au F15, et ne pas soupçonner la capacité d'évolutions réelle du Mirage.

Dans le cas présent, il ne s'attend donc pas à ce que le Mirage puisse arrêter de descendre si rapidement. Cela peut compromettre son anticipation du changement de trajectoire de l'adversaire et donc modifier la sienne en conséquence.

Ce défaut de connaissance ou de sensibilité est dû à deux facteurs principaux.

Premièrement, le pilote du F15, n'a pas reçu d'instruction ou d'information particulière des cadres du 2nd FS ayant déjà expérimenté le vol contre le Mirage 2000 lors d'un exercice précédent.

Ensuite, le leader français n'a pas particulièrement pris en compte le fait que son équipier effectuait une première mission de ce type et donc adapté son briefing en conséquence.

Ce manque lors du briefing peut sans doute trouver son explication dans le fait que pour le pilote français, il s'agit également d'une première *BFM* (*DBFM – dissimilar BFM*) contre un avion étranger et qu'il n'est donc pas forcément sensibilisé aux problèmes que peuvent poser ces missions.

Il est certain que le pilote du F15 n'a pas de connaissance particulière du Mirage 2000, et qu'il n'a effectué ce type de mission qu'avec des appareils similaires au sien. Ce manque de connaissance a pu l'induire en erreur dans les attendus de trajectoires du Mirage.

2.2.2. Perte de visuel du F15 par le Mirage 2000 pendant la ressource

La perte de visuel finale va durer environ 8 secondes et concerne autant le pilote que le NOSA. Sa survenue et l'absence de détection relèvent de plusieurs facteurs.

2.2.2.1. Focalisation attentionnelle de l'équipage

Lors des vols effectués en France, le plancher des zones de combat fait l'objet d'une attention particulière. En effet, quasiment toutes les zones d'entraînement au combat aérien sont situées au-dessus d'espaces dans lesquels il y a très souvent du trafic aérien étranger à la mission. Aussi, outre le fait que le respect de l'altitude minimale des zones de combat garantit une marge de sécurité suffisante vis-à-vis du sol, notamment en cas de perte de contrôle, il est également impératif pour éviter tout risque de croisement de trafic évoluant sous la zone dont le pilote n'a en plus pas toujours connaissance. Ainsi, le franchissement de l'altitude de sécurité est associé, par habitude, à une notion de danger et son évitement est devenu une action automatisée, principalement pour le pilote.

Au cours de la manœuvre de tonneau barriqué, il se rend rapidement compte qu'elle ne pourra être menée à son terme sans franchir le plancher. Il décide donc de l'interrompre en effectuant une "sortie de piqué" (ailes à plat et ressource maximale). Dès lors, son principal souci sera de ne pas passer sous 11 000 ft et il consacrera la majeure partie de ses ressources cognitives et attentionnelles au pilotage de sa trajectoire et au contrôle de son altitude pendant la ressource. Il ne pourra alors plus diviser son attention entre le pilotage et la recherche du visuel sur l'autre appareil.

Dans le cadre de la *BFM*, les deux tâches principales du NOSA sont la surveillance des principaux paramètres de vol (vitesse et altitude) et surtout l'aide à l'acquisition ou au maintien du visuel sur l'autre appareil.

Pendant la manœuvre de tonneau barriqué, le NOSA va également focaliser une grande partie de son attention sur l'altitude de son appareil au détriment du maintien du visuel, alors que le pilote est déjà pleinement conscient de l'attitude de l'avion et entreprend les mesures correctrices. Cette attention particulière sera maintenue jusqu'à l'annonce par le pilote de l'arrêt de la stabilisation au plancher de la zone. C'est à ce moment qu'il repartira à la recherche du F15 et le découvrira alors qu'il est déjà proche de la collision.

**L'hypothèse selon laquelle l'équipage a été victime d'un phénomène de focalisation de l'attention est certaine.
Cette focalisation est à l'origine de la perte de visuel.**

2.2.2.2. Préparation de la mission

Parmi les éléments à étudier pendant la préparation figure l'environnement de la mission. Contrairement à la situation habituelle en France, la zone de combat utilisée pendant la mission était caractérisée, dessous, par l'absence d'espace aérien et de tout trafic extérieur à la mission. Ainsi, croiser le plancher de la zone ne présentait ici aucun danger. Outre le fait que le respect du plancher est de l'ordre du réflexe pour le pilote français, les entretiens révèlent que l'équipage n'avait pas prêté d'attention particulière à l'environnement de la zone, et en particulier à ce qui était susceptible de se trouver sous la zone de combat.

L'équipage n'avait pas analysé l'environnement de la zone. Il n'avait donc pas conscience que croiser le plancher ne représente qu'un faible niveau de risque. Cette connaissance aurait pu être diminuée les risques de focalisation sur ce facteur.

2.2.2.3. Coordination de l'équipage

La perte de visuel des 2 membres d'équipages sans que l'un n'alerte l'autre démontre un faible niveau de coordination se traduisant par un faible niveau d'échanges verbaux. En effet, lorsque le pilote décide d'arrêter la manœuvre de barrique, il ne se souvient pas avoir alloué verbalement au NOSA la tâche de maintenir le visuel sur le F15 et de s'être assuré que cela était fait.

De son côté, le NOSA ne semble pas avoir annoncé la perte de visuel sur le F15, ce qui aurait pu alerter le pilote sur la nécessité, soit de diminuer son attention sur le plancher au profit de la recherche visuelle, soit d'appliquer la procédure de perte de visuel prévue dans les règles d'entraînement.

Ce défaut de communication a pu entraîner une conscience erronée de la situation relative aux actions de chacun des membres par l'autre.

Lorsque les membres d'équipage ont une expérience de vol commune importante, les défauts de communication sont souvent observés. Or, cet équipage avait volé ensemble pendant un détachement lors du dernier trimestre pour réaliser des missions qui présentaient un niveau de difficulté assez élevé. Cette expérience mutuelle de vols difficiles, et réalisés avec succès, a pu également entraîner un excès de confiance entre le pilote et le NOSA et entraîner un défaut de contrôle croisé, tel que prévu dans les méthodes de CRM.

L'hypothèse selon laquelle le niveau de coordination de l'équipage était faible à ce moment de la mission est probable.

2.2.2.4. Baisse de vigilance du NOSA

Un rôle important du NOSA dans le travail équipages est le contrôle des actions du pilote. Or lors du briefing équipage, le pilote a demandé à son navigateur de ne pas l'encombrer avec les annonces standards prévues lors des missions de *BFM* telles que les paramètres de vitesse et d'altitude. Il peut donc en résulter une certaine démobilité et une baisse attentionnelle chez le NOSA.

De plus, les missions réalisées lors du dernier détachement pouvaient s'avérer complexes et dans tous les cas induisaient une charge de travail élevée tant pour le pilote que pour le navigateur. Au contraire, la mission de *BFM* implique un rôle plus limité pour le navigateur, avec peu de tâches allouées et donc une charge de travail faible. Il est alors possible que la diminution de complexité de la mission, associé à une faible charge de travail, ait entraîné une baisse de vigilance du NOSA.

L'hypothèse selon laquelle le niveau de vigilance du NOSA était plus faible qu'à l'accoutumée est possible.

2.2.3. Actions entreprises dans les instants précédant la collision

Le pilote saoudien a en permanence le visuel sur le Mirage. Quand il se rend compte, quelques secondes avant la collision, que la trajectoire suivie est très dangereuse, il aurait suffi qu'il dégauchisse et pousse sur le manche pour passer derrière le Mirage sans jamais perdre le visuel.

A l'inverse, il décide de renverser le sens de virage en donnant un ordre maximal à cabrer.

En faisant cela, il ne fait qu'augmenter l'incidence, masquer le Mirage (il perd donc visuel les 2,3 dernières secondes du vol) et installer son avion sur une trajectoire de collision.

Son action n'est pas le fruit d'une analyse rapide des trajectoires relatives mais repose sur un acte reflexe de réaction face au danger imminent en refusant l'obstacle.

Le pilote saoudien n'a pu éviter la collision car en réalisant un acte reflexe, il a agi à l'inverse de ce qui était requis.

Dans le Mirage, le pilote découvre le F15 environ 2 secondes avant la collision.

Il a le souvenir de s'être senti tétanisé et d'attendre le choc. Dans les faits, il incline doucement l'avion à gauche ce qui assure la séparation de quelques mètres qui font que le F15 touche l'aile du Mirage et non le fuselage ou le cockpit.

Cette réaction « modérée » du pilote s'explique par la confrontation soudaine à un danger imminent qui a entraîné un état de stress et une inhibition temporaire des actions réflexes.

Par ailleurs, le NOSA, qui a récupéré le visuel un peu plus tôt que le pilote ne mène également aucune action pour éviter le F15. Cette absence d'action aux commandes peut s'expliquer non seulement par le même phénomène de tétanisation, mais également par le fait que les navigateurs ne sont pas entraînés à mener des actions de survie si nécessaire alors qu'ils disposent de toutes les commandes pour le faire en place arrière.

2.3. Analyse de la partie du vol postérieure à la collision pour le Mirage 2000

2.3.1. Comportement du moteur

La valeur de la section tuyère n'évolue plus après et le module tuyère semble perdu à ce moment. 4 secondes après la collision, le pilote affiche plein réduit, en réaction à la perte de contrôle. La température et le régime semblent évoluer normalement.

6 secondes plus tard, il affiche plein gaz pour vérifier le fonctionnement du moteur.

Le FDR montre qu'il semble répondre à la sollicitation puisque 3 secondes plus tard, la température atteint environ 800° C et le régime 95 %, tous deux en augmentation.

A cet instant, les paramètres lus apparaissent incohérents au pilote qui pense alors que le moteur est hors service.

Il affiche à nouveau plein réduit pour se concentrer sur le contre de la rotation afin de s'éjecter dans de meilleures conditions.

Les raisons pour lesquelles le pilote a incorrectement analysé les paramètres affichés sont multiples, et principalement le stress postérieur à la collision et les forts mouvements de l'avion.

Le moteur répond aux sollicitations du pilote après collision.

L'hypothèse selon laquelle le pilote a interprété les paramètres affichés de manière erronée est certaine.

2.3.2. Pilotabilité de l'avion après la collision

2 secondes après la collision, l'avion est en auto tonneau légèrement "barriqué" par la droite. Le pilote essaie sans succès de contrer cette rotation après l'essai moteur.

L'analyse de l'épave et la modélisation de la collision montrent qu'au niveau des commandes de vol, le Mirage ne semble avoir perdu que l'élevon externe droit et le groupe d'enquête s'est posé la question de la pilotabilité de l'appareil dans cette configuration.

2.3.2.1. Alimentation hydraulique

Les profils de pression observés dans les actionneurs des commandes de vol sont tels qu'en cas de rupture de tuyauterie en amont des gouvernes, les servocommandes des autres gouvernes seront alimentées au mieux pendant 4 secondes.

Les paramètres enregistrés sur le FDR montrent qu'après la collision, les elevons internes ont continué de répondre aux ordres du manche pendant une durée bien supérieure. Les elevons étaient donc alimentés hydrauliquement après la collision

2.3.2.2. Efficacité des gouvernes restantes

L'arrachement supposé de l'élevon externe droit (EED) lors de la collision a vraisemblablement entraîné une panne double de servocommande de l'EED. L'allumage simultané des répéteurs de panne ambré et rouge dès la collision pourrait alors correspondre à des pannes MAN⁸ (répétiteur ambré) et DOM (répétiteur rouge).

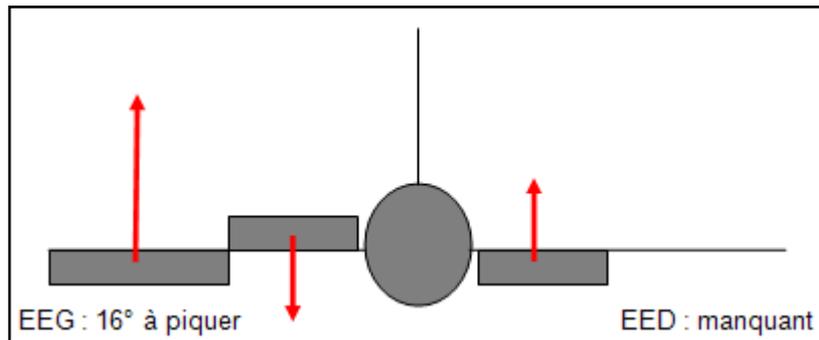
Dans un tel cas de panne double, l'élevon externe gauche (EEG) symétrique est repositionné dans le profil de l'aile (β_0) par le motoréducteur ultime secours.

L'enregistrement montre que l'EEG, initialement braqué à cabrer, ne s'est pas arrêté à β_0 mais a continué à se braquer à vitesse constante jusqu'à atteindre la butée de 16° à piquer. Ce comportement de la gouverne est typique d'une servocommande d'élevon qui n'est plus asservie.

L'explication la plus probable d'une telle perte d'asservissement est que le capteur ultime secours (fixé sur le renvoi assurant la liaison piston/gouverne) soit hors service, vraisemblablement à cause du heurt d'un débris.

Une fois que l'EEG, non asservi, a atteint sa position en butée à piquer, l'avion peut être schématisé comme suit lorsqu'un ordre de virer à gauche est ordonné par le pilote.

⁸ Les voyants « MAN » et « DOM » indiquent des pannes des commandes de vol induisant des limitations du domaine de vol.



Forces en présence suite à la collision

Les éleveurs externes assurent environ 70% du gauchissement.

Avec l'EEG bloqué à 16° à piquer, un gauchissement maximum sur les éleveurs internes serait juste suffisant pour équilibrer l'élevon externe tout en générant un couple à piquer important. Ainsi, le pilote ne peut contrer le roulis généré par l'EEG en positionnant le manche en gauchissement de manière habituelle sans générer un couple à piquer important, et inversement, il ne peut contrer le couple à piquer qu'au détriment du contrôle du roulis.

A l'issue de la collision, les servocommandes étaient alimentées hydrauliquement. Cependant, le comportement de l'élevon externe gauche a rendu le contrôle du roulis impossible pour le pilote qui n'avait d'autre choix que d'ordonner l'éjection.

2.4. Constatations effectuées dans le domaine de la sécurité survie

Trois points attirent l'attention :

- le non fonctionnement du système de largage automatique (SLA) ;
- les équipements de vol ;
- les commandes du parachute.

2.4.1. Non fonctionnement du SLA

Le paquetage du siège éjectable MK10 est équipé d'un système permettant sa mise en œuvre automatique quatre secondes après la séparation de l'utilisateur de son siège.

Ce système est initié par un percuteur qui met à feu une cartouche de gaz libérant ainsi le paquetage par l'intermédiaire d'un doigt de verrouillage. Dans le cas du paquetage du pilote, le doigt de verrouillage est dans sa position d'origine.



Paquetage du NOSA
il n'est plus lié au harnais par la boucle



Paquetage du pilote
il est toujours lié au harnais par la boucle

En cas de dysfonctionnement, une procédure de secours existe afin de séparer manuellement le paquetage. Le pilote ne l'a pas appliquée car compte tenu de la hauteur restante, il a préféré focaliser son attention sur son atterrissage. Il s'est posé avec son paquetage encore accroché, ce qui lui a valu de souffrir d'hématomes sur les membres inférieurs.

Afin de comprendre le dysfonctionnement, le SLA a été démonté. L'étude du mécanisme révèle que :

- l'amorce a été percutée ;
- l'enveloppe du piston a commencé à se déchirer ;
- le piston n'est pas sorti.

Il apparaît que la cartouche pyrotechnique n'a pas fonctionné.

Une analyse de la cartouche a été demandée à la société d'exploitation des matériels Martin Baker (SEMMB) en France qui l'a confiée au constructeur aux USA.

Le numéro de lot de la cartouche incriminée a été transmis à l'armée de l'air.



Amorce percutée



En haut, piston sorti normalement.
En bas, piston du SLA défectueux.

2.4.2. Port des équipements de vol

Le pilote volait avec des gants de type Sparco prévus pour l'automobile. S'ils répondent à certaines normes anti-feu, ils ne répondent pas à celles en vigueur en aéronautique militaire française.

Par ailleurs, les chaussettes utilisées par le pilote sont des chaussettes de sport en coton et non les chaussettes ignifugées en dotation.

Enfin, dans un souci de confort et de praticité au quotidien, le pilote ne serrait pas ses chaussures lors de vols en combinaison sèche mais les gardait "réglées" pour pouvoir être utilisées avec la combinaison étanche. La perte de sa chaussure gauche, outre le risque de blessure qu'elle pouvait engendrer, a monopolisé une grande partie de son attention pour décider de la technique d'atterrissage. Le temps occupé à gérer ce problème lui a manqué pour s'occuper du dysfonctionnement du SLA.

2.4.3. Les commandes de manœuvre du parachute

Les sièges éjectables dans le Mirage 2000D sont équipés de harnais dits de 4^{ème} génération. Ils sont équipés de sangles reliées au parachute permettant d'orienter la voile afin d'éviter des obstacles et atterrir face au vent. L'extrémité basse de cette sangle est cousue sur l'élévateur du harnais, ce qui limite le débattement et rend la préhension malaisée.

A titre de comparaison, les harnais de la génération précédente disposaient de commandes permettant une préhension plus aisée, un repérage plus facile (de couleur jaune) et un débattement limité par la longueur des bras de l'utilisateur.

Au cours de la descente, le pilote n'a pas trouvé les commandes de manœuvre de son parachute et a directement saisi les élévateurs afin de se séparer du NOSA.

2.5. Points remarquables non directement liés à l'accident

Au cours de l'enquête, certains éléments ont été relevés qui méritent d'être présentés, même s'ils ne sont pas liés directement à l'accident. Ils relèvent tous du domaine organisationnel.

2.5.1. Composition de la patrouille

Ce vol était une mission dite de familiarisation. L'objet de ce type de mission est principalement de reconnaître l'espace aérien de travail et de se familiariser avec les procédures locales. Traditionnellement, si la patrouille est mixte, il est d'usage qu'elle soit "leadée" par le pilote du pays hôte.

Le mercredi précédent l'accident, les responsables du 2nd FS ont demandé à leurs homologues français si certaines missions pouvaient être leadées par des français de façon à pouvoir faire voler des équipiers saoudiens dès le premier jour.

Les procédures de départ et d'arrivée sur le terrain de Tabuk étant très simples et la mission de familiarisation considérée comme telle, l'accord est rapidement donné.

Néanmoins, les différents intervenants dans la décision, tant français que saoudiens, n'ont pas analysé l'ensemble des paramètres à prendre en compte, à savoir :

- qualification des équipages ;
- expérience dans la mission ;
- activité récente ;
- connaissance de la plateforme.

Le cas présent, il s'agit d'une découverte de la *DBFM* pour les 2 équipages et la dernière mission de *BFM* de l'équipage français date d'environ 7 mois. Le pilote saoudien possède la qualification équivalente à la qualification française de PCO limitée au survol de l'espace saoudien et doit de ce fait bénéficier d'un briefing avant vol plus détaillé que de coutume. Enfin, l'équipier saoudien effectue, au même titre que l'équipage français, son premier vol sur la plateforme.

2.5.2. Préparation de l'exercice et de la mission

Certains aspects de la documentation opérationnelle nécessaire à la réalisation de l'exercice n'ont été produits que très tardivement par la RSAF. Ainsi, les *SPINS (special instructions)*, qui traitent entre autres des règles d'entraînement, du contenu des missions n'ont été signées par la RSAF qu'à la mi-décembre et n'ont été fournis au détachement français qu'à leur arrivée.

Ainsi, la différence relative aux dimensions des bulles de sécurité n'a été découverte que le mercredi soir et donc exposée le samedi matin pour que les modifications soient prises en compte.

De même, la différence de phraséologie entre les 2 armées de l'air n'est pas spécialement évoquée. Dans les faits, les équipages français utilisent au quotidien celle basée sur le document OTAN 80-6, alors que la RSAF utilise la documentation américaine. Si la majorité des mots codes sont identiques, il existe malgré tout des différences qui peuvent créer des incompréhensions si elles ne sont pas connues.

3. CONCLUSION

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

Le vol est réalisé dans le cadre de l'exercice franco-saoudien GREEN SHIELD 2012 se déroulant à partir de la base aérienne de Tabuk en Arabie Saoudite.

Il s'agit d'une mission de familiarisation aux procédures locales comprenant 3 présentations de type *BFM* entre les 2 avions de la patrouille.

A la fin de la troisième présentation, le Mirage 2000 alors en position défensive a l'opportunité de profiter d'une erreur du F15. Le pilote initie alors un tonneau barriqué à proximité du plancher de la zone, qu'il devra interrompre pour ne pas passer sous l'altitude minimale de vol pendant le combat. Se faisant, l'équipage du Mirage focalise son attention sur le pilotage de l'avion et de l'altimètre et perd le visuel du F15 pendant environ 8 secondes. Dans le même temps, le F15 effectue une manœuvre défensive afin de tenter de se replacer derrière le Mirage 2000. Sa trajectoire est mal maîtrisée et l'amène à la collision.

Le visuel sur le F15 est récupéré par l'équipage du Mirage 2000 2 à 3 secondes avant la collision et les manœuvres effectuées par l'un et l'autre des pilotes ne permettent pas d'éviter la collision.

Dans les secondes suivant l'impact le F15 se brise en 2 morceaux et le pilote s'éjecte.

Le Mirage 2000 part en auto-tonneau à droite. Le contrôle ne peut être repris par le pilote qui ordonne l'éjection.

Les 3 membres d'équipages sont récupérés sains et saufs par les secours saoudiens.

3.2. Causes de l'événement

La collision en vol entre les 2 appareils trouve son origine dans une erreur de trajectoire du F15, conjuguée à une perte de visuel de l'équipage du Mirage 2000 qui ne peut alors mener une action pour éviter l'impact.

Aucun facteur technique ou environnemental n'est à l'origine de l'accident dont les causes relèvent uniquement des facteurs humains et organisationnels.

L'erreur de pilotage du F15 est principalement due à :

- une illusion perceptive qui lui fait croire qu'il se trouve plus loin du Mirage qu'en réalité ;
- une probable gestion de la bulle de sécurité habituelle de 150 m au lieu des 300 m prévus pour l'exercice ;
- une absence de contrôle de sa trajectoire dans le plan vertical et une méconnaissance des performances du Mirage 2000 qui ne lui permettent pas d'anticiper la trajectoire du Mirage et de s'adapter en conséquence.

La perte de visuel de l'équipage du Mirage 2000 est principalement due à une focalisation sur l'altimètre alors que le pilote cherchait à ne pas passer sous le plancher de la zone.

Enfin, les actions d'évitement menées par les deux pilotes dans les instants précédant la collision ne pouvaient permettre de l'éviter.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

L'étude de l'activité aérienne de l'équipage français montre que la dernière mission de type *BFM* datait d'environ 7 mois pour les deux membres. De même, l'activité globale de l'unité sur ce type de mission est faible à très faible.

S'il n'est pas question ici de discuter des choix en matière d'entraînement, il convient de rappeler qu'un exercice aérien ne peut être considéré basique que s'il est pratiqué régulièrement. Ainsi, la *BFM* fait partie des missions pratiquées fréquemment lors de la phase de transformation sur l'avion et considérées comme acquises. Toutefois, une faible pratique ultérieure fait beaucoup perdre dans les domaines du sens du relatif, des anticipations de trajectoire, de la connaissance des capacités de son avion, des techniques de recherche visuelle...

Les erreurs commises par l'équipage français sont révélatrices du manque d'entraînement dans ce type de mission. Or, la notion de "*OPS currency*", c'est-à-dire l'aptitude à pratiquer un type de mission en toutes circonstances (degré de liberté, difficultés, exercices...), acquise avec une fréquence minimale de pratique, n'existe pas dans l'armée de l'air.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à :

L'armée de l'air de définir des critères de suivi de l'entraînement sur l'ensemble des missions pouvant être exécutées par les unités afin de décider si un équipage est toujours apte à les pratiquer en toutes circonstances (notion de "*operational currency*"), et de définir les exercices devant être pratiqués pour récupérer une aptitude perdue.

La séquence finale montre que le NOSA récupère le visuel avant le pilote. Le temps alors restant avant la collision était peut être suffisant pour lui permettre de mener une action aux commandes pour l'éviter.

Si le phénomène de tétanisation est vraisemblablement intervenu dans l'absence d'action de sa part, il est certain que le fait que le NOSA ne soit pas préparé à intervenir en situation de danger immédiat (perte de connaissance du pilote, abordage, blessure grave du pilote, etc...) ne concoure pas à une réaction de sa part.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à :

L'armée de l'air de mener une réflexion sur l'élargissement du rôle que pourrait occuper le NOSA en situation de danger immédiat.

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

L'enquête a montré que certains points ayant trait à l'aspect opérationnel de l'exercice n'ont pas été approfondis pendant son montage.

Ce fait s'est soldé par des oublis tant au plan documentaire qu'au plan des briefings.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande à :

L'armée de l'air de mettre en place une procédure visant à minimiser le risque d'oubli dans les aspects opérationnels de la préparation des exercices, des premiers briefings et des points de sécurité à aborder avec les équipages partenaires.

Le pilote français portait certains équipements de vol non réglementaires (gants et chaussettes) et ses chaussures n'étaient pas correctement lacées ce qui a entraîné la perte de l'une d'entre elles à l'éjection.

Outre le fait qu'il est opportun de rappeler que les équipements portés lors d'un vol doivent être correctement ajustés, il conviendrait de mener une réflexion sur l'adéquation de l'équipement fourni avec le besoin. En effet, certains membres d'équipages remplacent une partie de l'équipement prévu par des matériels civils ou provenant d'armées étrangères.

En écho aux recommandations de l'enquête A-2011-008-A, le bureau enquêtes accidents défense air confirme à l'armée de l'air l'intérêt de mener une étude auprès des équipages sur leur niveau de satisfaction quant aux équipements spéciaux dont ils sont dotés.

Enfin, les difficultés rencontrées par le pilote lors de l'utilisation du harnais du parachute démontrent la nécessité pour tous les membres d'équipage de s'entraîner régulièrement au portique afin de lever tout doute en situation réelle d'utilisation du parachute.