

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-D-2009-010-A

Date de l'événement	24 septembre 2009
Lieu	En mer, 36 km à l'est de Port-Vendres
Type d'appareil	Rafale marine standard F3
Immatriculation	F-XGBL (Rafale M22) et F-XGBO (Rafale M25)
Organisme	Direction générale de l'armement (DGA)
Unité	DGA Essais en vol

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-Marine.

Photos page 38 : BEAD-air

Illustrations pages 11 ; 17 ; 19 ; 20 ; 25 ; 26 et 28 : BEAD-air

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	2
TABLE DES MATIERES	3
TABLE DES ILLUSTRATIONS	5
GLOSSAIRE	6
SYNOPSIS	7
1. Renseignements de base	9
1.1. Déroulement du vol	9
1.1.1. Mission	9
1.1.2. Déroulement	9
1.1.3. Localisation	12
1.2. Tués et blessés	12
1.3. Dommages à l'aéronef	12
1.4. Renseignements sur les pilotes	13
1.4.1. Azur 420	13
1.4.2. Azur 430	13
1.5. Renseignements sur l'aéronef	14
1.5.1. Maintenance	15
1.5.2. Performances	15
1.5.3. Masse des avions lors du catapultage	15
1.5.4. Carburant	15
1.5.5. Autres fluides	15
1.6. Conditions météorologiques	15
1.7. Télécommunications	16
1.8. Renseignements sur l'aérodrome	16
1.9. Enregistrements de bord	16
1.9.1. Enregistreurs d'accident	16
1.9.2. Boîtiers de stockage des données de mission	16
1.9.3. Enregistreurs audio-vidéo	16
1.10. Renseignements sur les épaves	17
1.10.1. Localisation	17
1.10.2. Examen de la zone	17
1.10.3. Balises de localisation	18
1.10.4. Enregistreurs	18
1.10.5. Examen des épaves	18
1.11. Renseignements médicaux et pathologiques	21
1.11.1. Azur 420	21
1.11.2. Azur 430	21
1.12. Survie des occupants	22
1.12.1. Ejection d'Azur 420	22
1.12.2. Organisation des secours	22
2. Analyse	24
2.1. Exploitation des enregistrements	24
2.1.1. Exploitation des paramètres des enregistreurs de vol	24
2.1.2. Enregistrement des conversations radio entre les pilotes et le contrôle aérien du porte-avions	27
2.1.3. Reconstitution de la zone du vol	28
2.2. Hypothèse de la collision des avions	29
2.3. Hypothèses relevant du domaine environnemental	29
2.4. Hypothèse relative à la manœuvrabilité des avions	29
2.5. Hypothèses relevant du facteur humain	30
2.5.1. Dynamique des trajectoires décrites lors du dernier virage	30
2.5.2. Tentative d'évitement de la collision par Azur 430	31
2.5.3. Incapacité subite en vol d'Azur 430	31
2.5.4. Affaiblissement de la vigilance d'Azur 430	32
2.5.5. Observation d'Azur 420 par Azur 430	32
2.5.6. Diminution de l'attention d'Azur 430	32

2.5.7. Perception du rapprochement des avions	33
2.5.8. Projets d'actions individuels.....	33
2.5.9. Procédure de séparation des avions	34
2.5.10. Préparation de la mission et du vol en formation	34
2.5.11. Gestion du vol	35
2.5.12. Maintien de la compétence des pilotes au vol en formation	36
2.6. Abandon de bord	36
2.6.1. Abandon de bord d'Azur 430	36
2.6.2. Ejection d'Azur 420	37
3. Conclusion	40
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement	40
3.2. Causes de l'événement	40
4. Recommandations de sécurité	41
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	41
4.1.1. Briefing.....	41
4.1.2. Procédure de séparation des avions d'une formation	41
4.1.3. Communication	41
4.1.4. Organisation	41
4.1.5. Moyens de sauvegarde	42
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	42
Manceuvre du parachute	42
ANNEXES	43
ANNEXE 1 Communications propres au départ de la mission (U16)	44
ANNEXE 2 Communications propres au recueil de la mission (U17)	47

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Illustrations

Projection verticale des trajectoires décrites par Azur 420 et Azur 430 au cours du vol.....	11
Zone des épaves	17
Principaux éléments constituant la partie principale de l'épave du rafale M22.....	19
Principaux éléments constituant la partie principale de l'épave du Rafale M25	20
Représentation schématique des trajectoires finales	25
Représentation schématique des attitudes des avions immédiatement avant la collision (vue de l'arrière et de dessus).....	26
Représentation de la zone du vol et de ses points caractéristiques	28
Casque d'Azur 420.....	38
Cimier du casque d'Azur 420.....	38

GLOSSAIRE

DGA	Direction générale de l'armement
RPL	Réservoir pendulaire largable
g	Accélération de la pesanteur. Par définition, $1g = 9,80665 \text{ m.s}^{-2}$

SYNOPSIS

Date de l'événement : 24 septembre 2009 à 18 h 09.
 Lieu de l'événement : en mer Méditerranée, 36 km à l'est de Port-Vendres.
 Organisme : direction générale de l'armement.
 Unité : DGA Essais en vol.
 Aéronefs : Rafale marine standard F3 n° M22 et M25 affectés à la flottille 12F et mis à la disposition de la DGA Essais en vol.
 Nature des vols : vols d'essais.
 Nombre de personnes à bord : un pilote par avion.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Dans le cadre d'une campagne d'essais de catapultage du Rafale en configuration lourde, deux Rafale réalisent des vols d'essais à partir du porte-avions Charles de Gaulle.

A l'issue des deux catapultages effectués au cap 310/320, les avions se rassemblent à 10 000 pieds au cap 210. Ils effectuent des manœuvres en formation au-dessus de la mer pour consommer du carburant afin d'atteindre la masse prévue pour l'appontage. Au terme de ces manœuvres et après une phase de vol stabilisé à 11 000 pieds vers le sud, le Rafale M22 se place en poste de manœuvre à gauche du Rafale M25, à environ 200 mètres. Ils se séparent ensuite pour rejoindre individuellement leur point de début de percée (point « O »).

Le pilote du Rafale M22 effectue un virage à gauche et, en dégauchissant au cap est, entend un bruit sourd venant de l'arrière. L'avion part en tonneau entretenu, puis dans un mouvement que le pilote identifie être une vrille dos. Ne parvenant pas à reprendre le contrôle de l'aéronef, ce dernier s'éjecte. Sous voile, il voit un avion tomber.

Les deux appareils disparaissent des écrans radar. En l'absence de contact radio, la mesure DETRESFA¹ est déclenchée.

Le pilote amerrit à 40 Nm du porte-avions, embarque à bord de son canot de sauvetage puis est secouru par hélicoptère et rapatrié blessé vers le porte-avions. Une éventuelle éjection du pilote de l'avion M25 n'a pas été observée. Son corps, sanglé sur son siège éjectable, est découvert le 30 septembre.

Composition du groupe d'enquête technique :

- Un directeur d'enquête technique du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air) ;
- Un enquêteur adjoint ;
- Un enquêteur de première information (EPI) ;
- Un officier pilote ;
- Un officier mécanicien ayant une expertise sur Rafale ;
- Un officier contrôleur de circulation aérienne ;
- Un médecin du personnel navigant ;
- Un officier parachutiste d'essai ayant une expertise sur le dispositif d'éjection équipant le Rafale.

¹ Vocabulaire utilisé pour désigner une phase d'urgence pour laquelle il est raisonnablement certain qu'un aéronef et ses occupants sont exposés à un danger grave imminent et qui nécessite une assistance immédiate.

Autres experts consultés :

- Centre de restitution d'enregistrements d'accidents (RESEDA) ;
- Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA) ;
- Laboratoires d'analyses de surveillance et d'expertise de la marine (LASEM) ;
- DGA Techniques aéronautiques.

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air a été prévenu téléphoniquement par le commandement de la force de l'aéronautique navale le 24 septembre à 19 h 05. Le groupe d'enquête technique immédiatement constitué s'est regroupé sur la base d'aéronautique navale de Hyères dès le lendemain matin. Il s'est scindé en deux équipes : l'une, conduite par le directeur d'enquête technique, a rejoint le porte-avions Charles de Gaulle, l'autre, dirigée par l'enquêteur technique adjoint s'est rendue à l'hôpital de Toulon pour s'entretenir avec le pilote survivant.

Enquête judiciaire

Le procureur près le tribunal de grande instance de Marseille (affaires militaires) s'est saisi de l'affaire, lequel a confié la direction de l'enquête à la section judiciaire de la gendarmerie de l'air en cosaisine avec la brigade de recherches de la gendarmerie maritime. Il a rendu une décision de classement sans suite le 27 juillet 2010.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Cette mission aérienne doit permettre de réaliser deux catapultages par avion comme suit :

- un catapultage à partir du porte-avions suivi d'un appontage ;
- un ravitaillement moteur tournant ;
- un second catapultage suivi d'un appontage.

Indicatifs mission : Azur 420 (Rafale M22) et Azur 430 (Rafale M25).

Type de vol : CAM C².

Type de mission : vol d'essai, catapultage en configuration lourde.

Dernier point de départ : porte-avions Charles de Gaulle (N 43°08', E 004°15').

Heures de catapultage : 17 h 47 (Azur 420) et 17 h 49 (Azur 430).

Point d'appontage prévu : porte-avions Charles de Gaulle (position proche de N 42°49'30'', E 004°00'48'').

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Contexte du vol

Le vol s'inscrit dans le cadre d'une campagne d'essais à la mer du Rafale au standard F3 à bord du porte-avions Charles de Gaulle prévue du 21 septembre au 2 octobre 2009 et dirigée par la DGA Essais en vol. Suite à un chantier sur les catapultes, l'objectif de ces essais est de valider le catapultage de l'avion en configuration lourde avec le régime moteur en pleine charge avec post combustion. La campagne prévoit trente-quatre catapultages. Quinze ont été réalisés avant le vol de l'événement.

Des enchaînements de séquences d'appontages suivies de ravitaillement moteurs tournants puis de catapultages sont nécessaires pour réduire la durée de la campagne au strict minimum. Afin de minimiser le temps de vol entre chaque séquence, il est prévu de vidanger en vol jusqu'à 5,8 tonnes de carburant pour respecter la masse maximale de l'avion à l'appontage. Sinon le catapultage peut être suivi d'un vol de navigation ou d'entraînement au profit du pilote afin de consommer du carburant et ne pas dépasser cette masse.

² Vol ou phase de vol contrôlé effectué dans un espace aérien - ou sur un itinéraire - spécialement affecté, permettant la protection de certaines activités particulières.

L'organisme de la circulation aérienne est responsable :

- s'il bénéficie de la visualisation radar, de prévenir des abordages vis à vis des aéronefs autorisés à pénétrer ou connus ou détectés et de veiller au respect des limites de l'espace aérien ou du suivi de l'itinéraire pour l'aéronef en CAM ;

- en l'absence de visualisation radar, de l'espacement avec les vols qu'il a autorisé à pénétrer. Dans ce cas, seul le contrôle "aux procédures" est assuré.

Le pilote est responsable de la navigation, du strict maintien dans les limites de l'espace aérien - ou de l'itinéraire - utilisé, de la conduite de l'aéronef et assure, une surveillance visuelle constante.

1.1.2.2. Activité aérienne du jour

Le jour de l'événement, Azur 420 et Azur 430 ont effectué deux missions aériennes. La première comprenait un catapultage et un appontage. La deuxième comprenait un catapultage, un appontage suivi d'un ravitaillement moteur tournant, d'un second catapultage et d'un appontage. Les durées de ces vols sont respectivement de 25, 21 et 32 minutes pour chaque pilote.

L'événement survient pour chacun d'eux lors de la 3^{ème} mission aérienne et du 4^{ème} vol.

1.1.2.3. Préparation de la mission

Les modes exécutoires des essais concernant chaque avion font l'objet d'ordres d'essais émis par la base d'essais d'Istres de la DGA Essais en vol

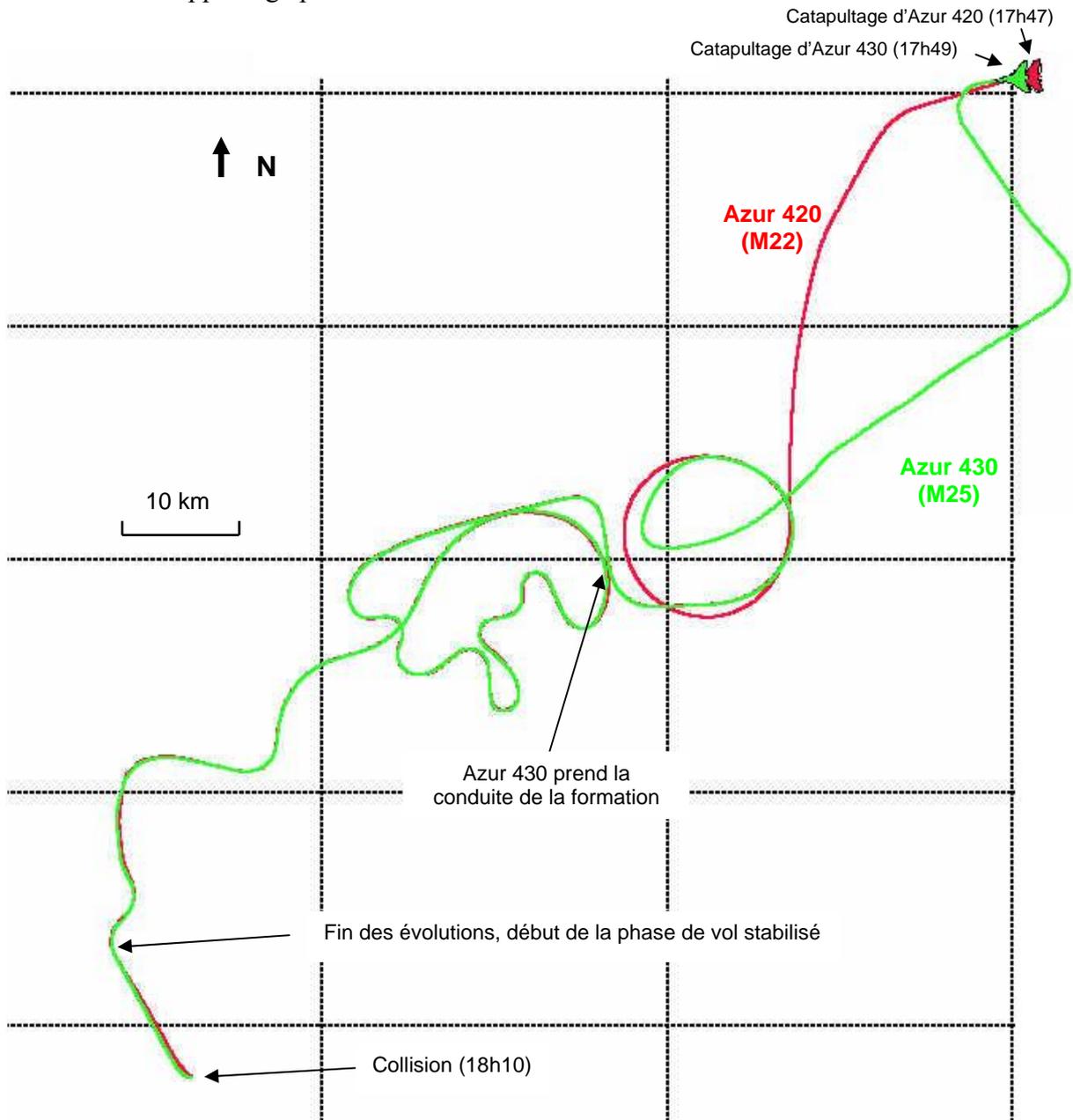
Lors de la préparation de la mission, les pilotes ont :

- assisté en salle d'alerte au briefing propre à l'essai, réalisé par un ingénieur navigant d'essais, puis à celui concernant la météorologie ;
- assisté au briefing réalisé par le bureau des vols du bord sur les éléments administratifs du vol. Azur 430 a déclaré l'intention de rassemblement des deux avions à l'issue du catapultage pour effectuer des manœuvres coordonnées et consommer suffisamment de carburant afin d'atteindre la masse prévue pour l'appontage. Il a fait inscrire les caractéristiques du point de rassemblement sur les fiches émises par le bureau des vols du porte-avions. L'ordre d'appontage prévoit Azur 420 puis Azur 430. Les durées estimées des vols sont de 32 minutes pour Azur 420 et de 34 minutes pour Azur 430. Au cours du briefing, Azur 420 a régulièrement témoigné de la réception et de la compréhension des directives. Les pilotes ont acquis la position de leurs points de recueils respectifs (points « O »), sur la radiale 130 du porte-avions :
 - à 20 Nm et 10 000 pieds pour Azur 420 ;
 - à 22 Nm et 12 000 pieds pour Azur 430 ;
- réalisé le briefing concernant la partie du vol postérieure au catapultage qui comprendra une période de vol en formation, scindée en deux phases. La fonction de leader sera assurée par Azur 420 au cours de la première, puis par Azur 430 au cours de la seconde ;
- visé le cahier d'ordres, avant de rejoindre le bureau technique aviation pour prendre en compte les avions qui leur ont été assignés.

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

- Azur 420 et Azur 430 sont catapultés respectivement à 17 h 47 et 17 h 49. Ils se rejoignent sur le circuit de rassemblement radial 210 du porte-avions, à 20 Nm et à l'altitude de 10 000 pieds.
- Les avions évoluent ensuite dans le secteur sud-ouest du porte-avions, à une distance comprise entre 20 et 40 Nm. La tranche d'altitude utilisée est comprise entre 10 000 et 15 000 pieds. Azur 420, leader de la première phase du vol, entreprend des manœuvres de patrouille serrée. Puis Azur 430 prend la conduite de la patrouille 15 minutes après avoir été catapulté, et réalise des manœuvres de patrouille serrée.

- A 18 h 07 min 26 s, alors qu'Azur 430 conduit la formation et que les avions évoluent en manœuvre, les pilotes activent la postcombustion. Azur 420 se situe à gauche d'Azur 430, en retrait de sa position, et sensiblement à la même altitude.
- Vers 18 h 09 min, Azur 420 constate que la masse de carburant restant à bord de son avion est proche de 4,4 t. Il informe alors Azur 430 qu'il est temps de rejoindre le point de début de percée afin d'entreprendre la procédure d'approche guidée du porte-avions et respecter les heures d'appontage prévues.



Projection verticale des trajectoires décrites par Azur 420 et Azur 430 au cours du vol

Azur 430 met fin aux manœuvres à 18h 08 min 30s, stabilise la patrouille au cap 150 à 11 300 pieds. Azur 420, sensiblement à la même altitude, se place du côté gauche car il sait qu'il devra virer dans cette direction pour rejoindre le point « O » lorsque l'ordre de séparation sera donné par Azur 430. Il adopte une trajectoire sensiblement parallèle à celle d'Azur 430 tout en prenant du retrait et de l'écart par rapport au leader, et vient se placer dans les huit heures de ce dernier. La distance entre les avions est voisine de 330 m. Les pilotes coupent la postcombustion à 18 h 08 min 39 s.

Azur 430 donne la liberté de manœuvre à Azur 420. Celui-ci part en virage à gauche. Cinq secondes s'écoulent avant qu'Azur 430 parte à son tour en virage à gauche. Les deux avions entrent en collision huit secondes plus tard.

1.1.3. Localisation

- Lieu :
 - pays : France ;
 - en mer Méditerranée, à 36 km dans le 100 de Port-Vendres ;
 - coordonnées géographiques :
 - N : 42° 27' 45'' ;
 - E : 003° 32' 36'' ;
 - altitude du lieu de l'événement : 11 150 pieds.
- Moment : jour.
- Aéroport le plus proche au moment de l'événement : Perpignan-Rivesaltes situé à 63 km dans le 300 du lieu de l'événement.

1.2. Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles	1		
Graves			
Légères	1		
Aucune			

1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
M22		X		
M25		X		

1.4. Renseignements sur les pilotes

1.4.1. Azur 420

- Age : 40 ans.
- Sexe : masculin.
- Unité d'affectation : centre d'expérimentations pratiques et de réception de l'aéronautique navale (CEPA/10S) :
 - fonction dans l'unité : chef du détachement du CEPA/10S à Mont-de-Marsan.
- Formation :
 - qualification : pilote d'essais expérimental avion ;
 - école de spécialisation : école du personnel navigant d'essais et de réception (EPNER) ;
 - année de sortie d'école : 2002.
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours		Catapultage	
	Sur tous types	Dont sur Rafale	Sur tous types	Dont sur Rafale	Sur tous types	Dont sur Rafale	Sur tous types	Dont sur Rafale
Total (h)	2850	156	76	18	76	54	352	45
Dont nuit	437	5	2	0	2	0	75	23
Dont VSV	354	42	5	0	5	0	Sans objet	Sans objet

- Date du dernier vol comme pilote :
 - sur l'aéronef : 24 septembre 2010 ;
 - sur tous types : 24 septembre 2010.

1.4.2. Azur 430

- Age : 45 ans.
- Sexe : masculin.
- Unité d'affectation : DGA Essais en vol.
- Formation :
 - qualification : pilote d'essais expérimental avion ;
 - école de spécialisation : école du personnel navigant d'essais et de réception (EPNER) ;
 - année de sortie d'école : 2002.
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours		Catapultage
	Sur tous types	Dont sur Rafale	Sur tous types	Dont sur Rafale	Sur tous types	Dont sur Rafale	Sur tous types
Total (h)	4850	230	136	30	23	11	578

- Date du dernier vol comme pilote :
 - sur l'aéronef : 24 septembre 2010 ;
 - sur tous types : 24 septembre 2010.

1.5. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : marine nationale.
- Commandement organique d'appartenance : commandement de la force de l'aéronautique navale.
- Base aérienne de stationnement : base d'aéronautique navale (BAN) de Landivisiau.
- Unité d'affectation : flottille 12F.
- Type d'aéronef : Rafale marine standard F3 :
 - configuration :
 - avion M22 :
 - points d'emports externes droit et gauche : une maquette de missile MICA IR³ en chaque point ;
 - points d'emport n° 1 droit et gauche sous voilure : un réservoir pendulaire largable (RPL) de 1 250 litres en chaque point ;
 - points d'emport n° 2 droit et gauche sous voilure : un pylône universel, un adaptateur tripode et trois emports d'entraînement de 250 kg en chaque point, exempts de charges militaires ;
 - points d'emport n° 0 latéraux arrière droit et gauche sous fuselage : un missile MICA EM⁴ en chaque point ;
 - avion M25
 - points d'emport n° 1 droit et gauche sous voilure : un RPL de 1 250 litres en chaque point ;
 - points d'emport n° 2 droit et gauche sous voilure : un pylône universel, un adaptateur tripode, et maquette AASM⁵ exempte de charge militaire en chaque point ;
 - points d'emport n° 0 latéraux arrière droit et gauche sous fuselage : un missile MICA EM en chaque point ;
 - armement : aucun, les bombes et missiles d'entraînement emportés étaient exempts de charges militaires ;
 - caractéristiques :
 - Rafale M22

	Type - série	Numéro	Heures de vol
Cellule	Rafale Marine RA1M200 n°ARG057	22	537,4
Moteur gauche	M88-2 Etape 4	WM000202	389,46
Moteur droit	M88-2 Etape 4	WM000207	292,48

³ Missile d'interception de combat et d'auto-défense infrarouge.

⁴ Missile d'interception de combat et d'auto-défense électromagnétique.

⁵ Armement air-sol modulaire.

○ Rafale M25

	Type – série	Numéro	Heures de vol
Cellule	Rafale Marine RA1M200 n°ARG060	25	276,9
Moteur gauche	M88-2 Etape 4	WM000023	660,77
Moteur droit	M88-2 Etape 4	WM000060	937,45

1.5.1. Maintenance

L'examen de la documentation de maintenance concernant les deux avions montre :

- une réalisation des opérations de maintenance conforme au plan d'entretien en vigueur ;
- l'absence d'opération de maintenance majeure ou sensible au cours des derniers jours précédant l'accident ;
- la conformité de la gestion de la configuration des matériels avionnés sur les deux avions.

1.5.2. Performances

En fonction de la configuration d'emport, un réglage spécifique du système de commandes de vol du Rafale est sélectionné en cabine. Dans le cas de ce vol d'essais, les deux Rafale avaient un domaine de vol restreint adapté à leur masse élevée.

1.5.3. Masse des avions lors du catapultage

- Rafale M22 : 20 300 kg.
- Rafale M25 : 20 150 kg.

1.5.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : identique pour les deux avions, F44.
- Quantité de carburant au catapultage : identique pour les deux avions, 6 700 kg.
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement :
 - Rafale M22 : 4 400 kg ;
 - Rafale M25 : 4 500 kg.

1.5.5. Autres fluides

- Fluide hydraulique : H-537. Quantité estimée : 30 litres.
- Huile moteur : O-156. Quantité estimée : 20 litres.
- Liquide de refroidissement coolanol 25R. Quantité estimée : 3 litres.

1.6. Conditions météorologiques

Observations réalisées à 17 h 00 le jour de l'événement par le service météorologique du porte-avions :

- nébulosité : ciel clair (0/8) ;
- visibilité : 20 km ;
- vent : 7 nœuds, orienté au 220 ;
- température de l'air : 23°C ;
- température du point de rosée : 22°C ;
- QNH : 1017,5 hPa ;
- état de la mer :
 - vent : force 3 ;
 - vagues :
 - hauteur : 0,5m ;
 - intervalle : 3 secondes ;
 - température de l'eau : 22°C.

1.7. Télécommunications

Azur 420 et Azur 430 étaient en liaison radio avec le porte-avions sur deux fréquences UHF⁶, l'une utilisée lors du départ de la mission, l'autre pour le recueil. Les deux pilotes étaient en liaison radio au moyen d'une fréquence VHF⁷. La liaison 16⁸ n'était pas activée.

Le Rafale Marine standard F3 est équipé d'une balise de localisation acoustique de détresse installée dans le compartiment de l'atterrisseur principal gauche.

1.8. Renseignements sur l'aérodrome

Lors de l'événement, le porte-avions fait route au 310 et se situe à 98 kilomètres et dans le relèvement 044 des deux avions.

1.9. Enregistrements de bord

Chaque avion est équipé :

- d'un enregistreur d'accident 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 la maintenance de l'avion ;
- d'un enregistreur des informations :
 - vidéo de la visualisation en tête haute et des principaux écrans de visualisation présentés au pilote ;
 - audio du téléphone de bord.

1.9.1. Enregistreurs d'accident

L'enregistreur de vol de l'avion M25 a été localisé le 19 octobre et remonté à la surface le 24. Les informations mémorisées ont été extraites le 25, soit 31 jours après l'accident.

L'enregistreur de vol de l'avion M22 a été localisé le 14 novembre. Il a été remonté à la surface le 18. Les informations mémorisées ont été extraites le même jour, soit 55 jours après l'accident.

1.9.2. Boîtiers de stockage des données de mission

Ces boîtiers n'ont pas été retrouvés.

1.9.3. Enregistreurs audio-vidéo

L'enregistreur audio-vidéo et la bande magnétique du Rafale M25 ont été retrouvés et remontés à la surface deux semaines après l'événement.

La bande magnétique supportant des informations audio-vidéo est endommagée :

- la surface recueillant les informations magnétiques a totalement disparu de la partie de la bande correspondant aux deux dernières minutes du vol. En conséquence, aucune information relative à cette période n'a pu être recueillie ;
- le reste de l'enregistrement est incomplet et discontinu. Au total, les informations accessibles sont fragmentaires.

L'enregistreur audio-vidéo et la bande magnétique du Rafale M22 n'ont pas été retrouvés.

⁶ 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).

⁷ VHF : *Very High Frequency* – désigne une gamme de fréquence de radiocommunication dont la plage comprise entre 108 et 144 MHz est réservée au domaine aéronautique.

⁸ Standard de liaison de données de l'OTAN pour l'échange d'informations entre des unités militaires.

1.10. Renseignements sur les épaves

1.10.1. Localisation

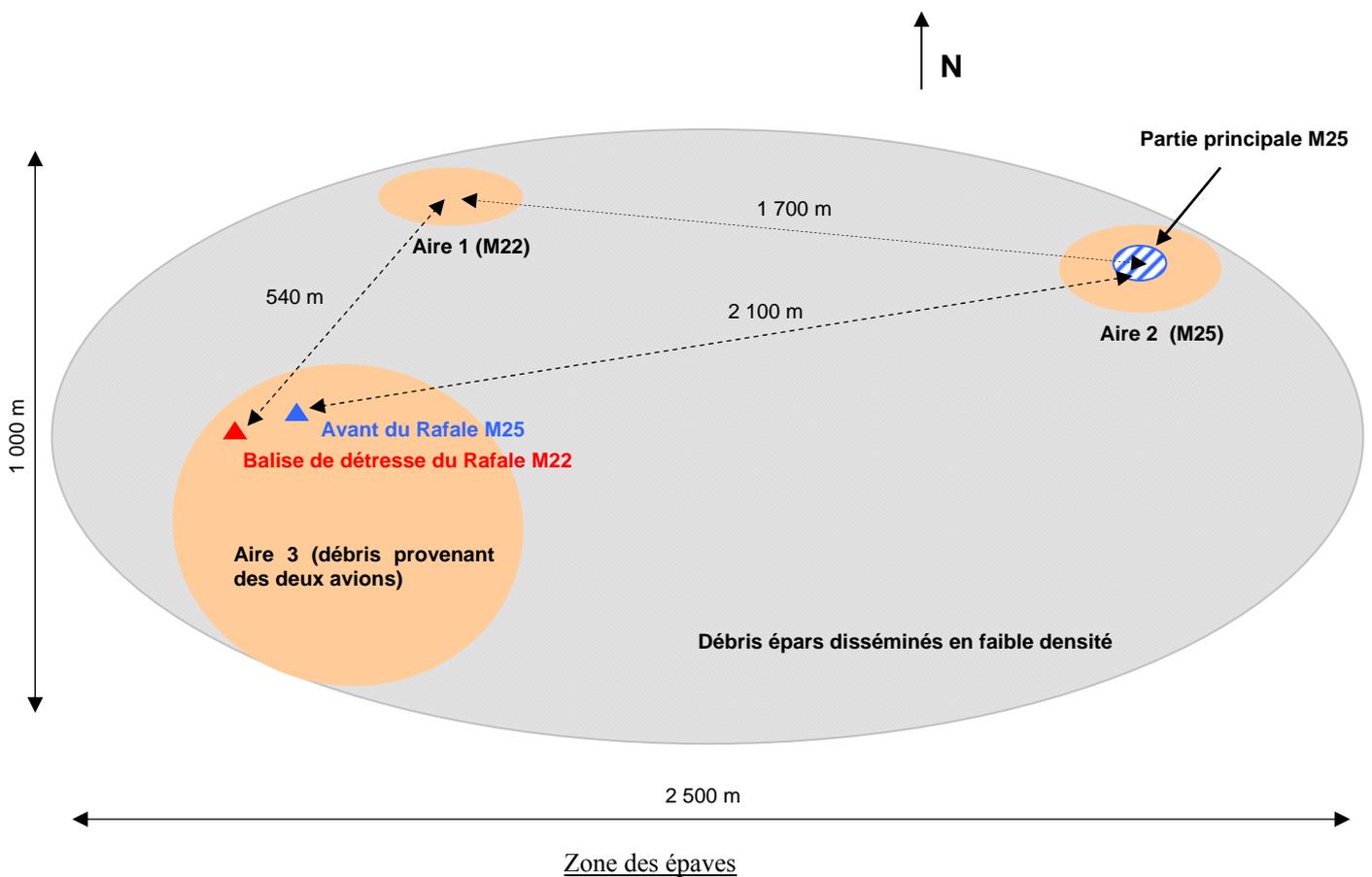
Les signaux émis par les deux balises de détresse ont été localisés trois jours après l'accident et ont permis de circonscrire la zone des épaves.

1.10.2. Examen de la zone

Les épaves sont réparties sur le fond marin à une profondeur moyenne de 685 mètres. La zone concernée est de forme ovale, orientée selon un axe est-ouest, longue de 2,5 km et large d'un kilomètre.

La zone comprend :

- une aire longue de 150 m et large de 50 m sur laquelle est retrouvée une concentration importante d'éléments du Rafale M22 (aire 1) ;
- une aire longue de 200 m et large de 100 m où sont répartis des éléments du Rafale M25 (aire 2). Elle comprend une aire de plus faibles dimensions (30 m x 20 m) où est concentrée la partie principale de l'épave de cet avion ;
- une aire dans laquelle ont été retrouvés des débris épars provenant des deux avions (aire 3), notamment les principaux éléments de l'avant du Rafale M25 et une partie de l'avant de la bombe externe gauche du Rafale M22.



Distances principales caractérisant la zone des épaves :

- les aires des épaves des avions M22 et M25 (aire 1 et 2) sont éloignées l'une de l'autre de 1 700 m ;
- la balise de localisation du Rafale M22 est retrouvée à 540 m de l'aire 1 ;
- l'avant du Rafale M25 est retrouvé à 2 100 m de l'aire 2 ;
- un élément du Rafale M22 est retrouvé à 810 m de l'aire 1.

1.10.3. Balises de localisation

La balise de localisation du Rafale M25 est retrouvée dans les débris de l'aire 2. Celle du Rafale M22 a été retrouvée seule, distante de 540 m de l'aire 1.

1.10.4. Enregistreurs

L'enregistreur de vol du Rafale M25 est retrouvé dans son logement, solidaire de la partie inférieure de la dérive. Cette dernière est désolidarisée du fuselage, éloignée d'une dizaine de mètres.

L'enregistreur de vol du Rafale M22 est retrouvé parmi les débris de la partie principale de l'épave (aire 2), partiellement enfoui dans la vase. Il est détaché de son support qui demeure fixé au plancher du caisson. Ce dernier est solidaire de la dérive sur laquelle il est installé.

L'enregistreur de la visualisation tête haute du Rafale M25 est désolidarisé de l'avion, et repose sur le fond à proximité immédiate de l'épave principale. Celui du Rafale M22 n'a pas été retrouvé.

1.10.5. Examen des épaves

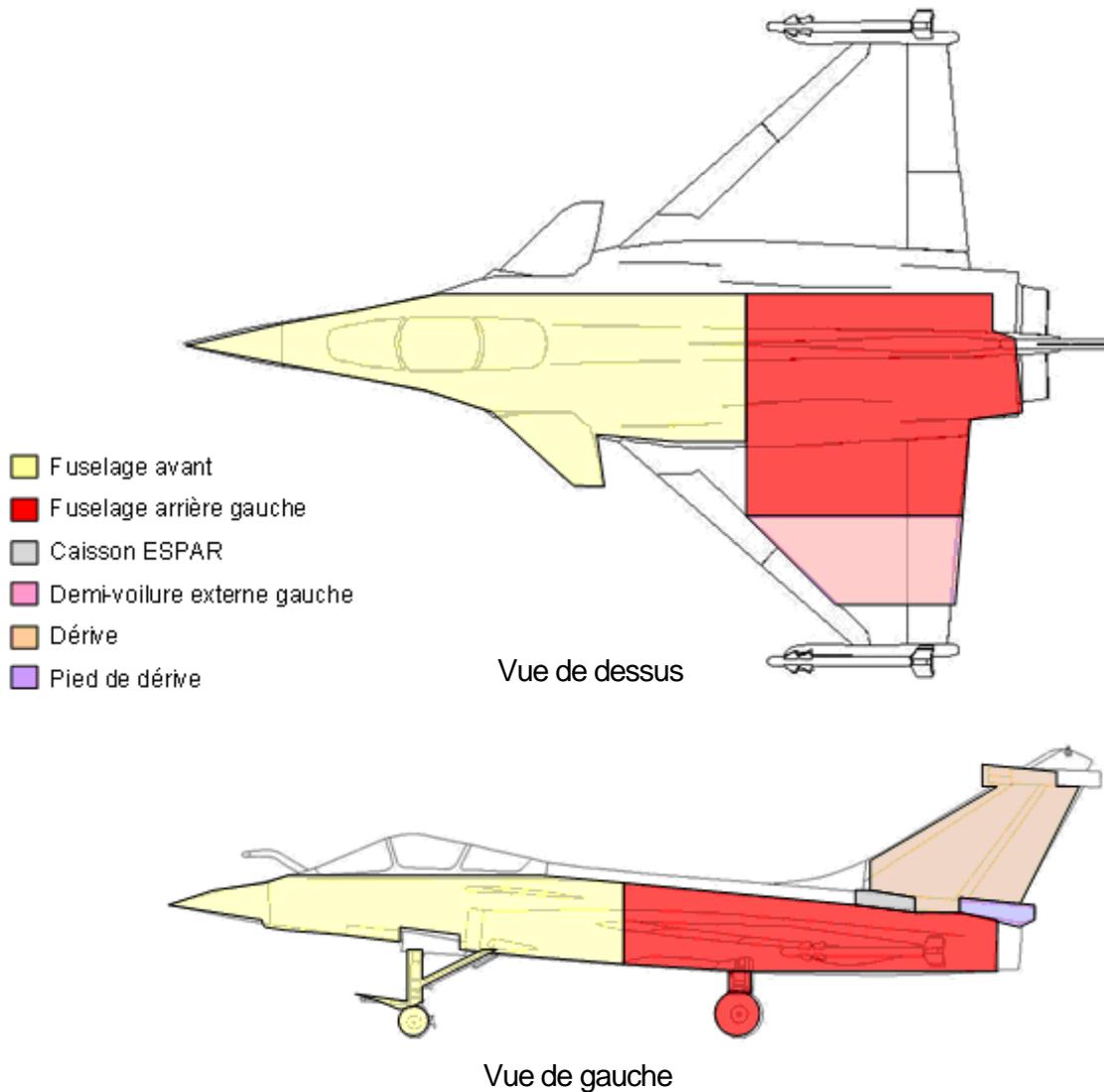
1.10.5.1. Rafale M22

La partie principale de l'épave, répartie sur l'aire 1, est constituée des éléments suivants :

- l'avant du fuselage comportant l'atterrisseur auxiliaire ;
- l'arrière gauche du fuselage comportant l'atterrisseur principal gauche, une partie de l'aile gauche et le RPL gauche ;
- les réacteurs gauche et droit, distants l'un de l'autre d'environ 60 m ;
- une partie extérieure de l'aile gauche équipée d'une partie d'un adaptateur tripode ;
- la dérive et la gouverne de direction ;
- le pied de dérive ;
- le RPL droit.

Une partie du kit de guidage de la bombe externe gauche est retrouvée à 810 m du champ de débris de l'avion et à 1800 m (distance au sol) du point de collision entre les deux avions, témoignant d'une trajectoire balistique après désolidarisation plutôt que d'une projection après impact sur la mer.

Les deux principaux ensembles (fuselage avant et fuselage arrière gauche) reposent sur le dos. Cette position ne permet ni l'observation ni l'accès au poste de pilotage. La rupture entre la partie avant du fuselage et la partie arrière gauche se situe au niveau du cadre 27, placé à l'avant des compartiments des atterrisseurs principaux. Le bord d'attaque de la dérive est déchiré. Les moteurs et les RPL sont entiers.



Principaux éléments constituant la partie principale de l'épave du rafale M22

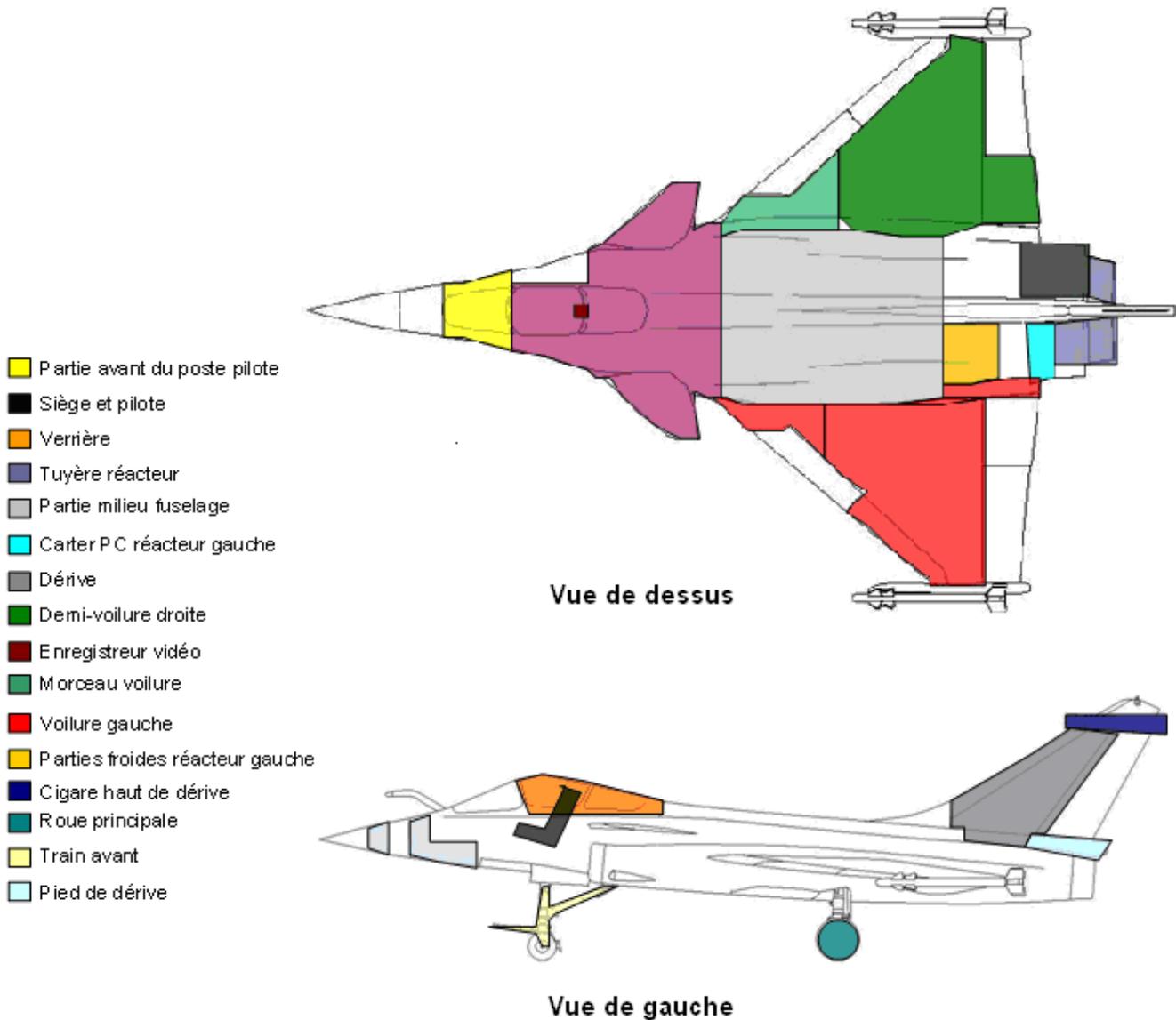
1.10.5.2. Rafale M25

Des éléments suivants provenant de l'avant du Rafale M25 ont été retrouvés à proximité de la balise de localisation de la balise de localisation Rafale M22. Il s'agit de :

- la structure du radar ;
- le coffret émetteur radar ;
- le coffret de traitement radar ;
- un élément de l'ensemble avant du radar ;
- les centrales inertielles.

La partie principale de l'épave comprend les ensembles désolidarisés suivants :

- la partie avant du fuselage correspondant au cockpit et le siège éjectable ;
- la partie médiane du fuselage comportant les trains principaux ;
- la dérive ;
- le pied de dérive ;
- les ailes ;
- les moteurs ;
- les RPL.



Principaux éléments constituant la partie principale de l'épave du Rafale M25

Les principales constatations sont les suivantes :

- le poste de pilotage est détruit. Le fuselage se présente à cet endroit sous la forme d'un amas de câblage et d'éléments de structure. Le siège éjectable repose sur le dos, parmi les débris du cockpit. La poignée de commande d'éjection est déplacée de quelques centimètres de sa position de repos ;
- la verrière est endommagée. 90% de la partie translucide de la verrière située à l'avant de l'arceau central est absente. La partie restante est répartie le long du pourtour intérieur de l'armature métallique périphérique ;
- la partie avant du fuselage chevauche la partie médiane. La rupture de ces deux ensembles se situe au niveau du cadre 27, à l'aplomb de l'arrière de l'antenne IFF⁹ supérieure, laquelle est intacte ;
- la rupture du fuselage à l'arrière de la partie médiane se situe au niveau du cadre 37 ;
- les flancs, le bord d'attaque, l'embase et les ferrures de la dérive ne présentent pas d'endommagements remarquables ;
- les moteurs et les RPL sont fragmentés.

1.11. Renseignements médicaux et pathologiques

1.11.1. Azur 420

- Dernier examen médical :
 - type : visite d'aptitude pilote d'essais ;
 - date : 20 mai 2009 ;
 - résultat : apte à l'emploi de pilote d'essais ;
 - validité : 6 mois.
- Examens biologiques :

Ils ont été réalisés dans le cadre de l'enquête judiciaire. Les résultats sont négatifs.
- Blessures :

Azur 420 présente une lésion de blast avec projection sur la partie supérieure du tronc de multiples éléments d'aspect métallique. Les impacts concernent principalement la face, le bras droit, la face antérieure du cou, entraînant à chaque fois des plaies de type « criblage ». La présence d'éléments projetés au niveau des globes oculaires ont nécessité une exérèse chirurgicale.

1.11.2. Azur 430

- Dernier examen médical :
 - type : visite d'aptitude pilote d'essais ;
 - date : 18 septembre 2009 ;
 - résultat : apte à l'emploi de pilote d'essais ;
 - validité : 31 mars 2010.
- Examens biologiques : non effectués.
- Blessures : décès par polytraumatisme consécutif à l'accident.

⁹ *Identification friend or foe* : identification ami ou ennemi au radar.

1.12. Survie des occupants

1.12.1. Ejection d'Azur 420

- Éjection :
 - Type de siège éjectable : MK16.
- Données morphologiques :
 - taille : 1,74 m ;
 - poids : 73 kg (équipé : 85 kg) ;
- Éléments au moment de l'éjection :
 - Altitude : 8 900 pieds ;
 - Vitesse : 151 kt ;
 - Assiette longitudinale : -38° ;
 - Assiette latérale : -163°.

1.12.2. Organisation des secours

- A 18 h 10, dès la disparition des deux avions des écrans radar et en l'absence de contact radio, le contrôle aérien (approche) du porte-avions informe le commandant du navire qui ordonne immédiatement :
 - le déclenchement de l'alerte (mesure DETRESFA) et la transmission de l'alerte au centre de coordination et de sauvetage de Lyon-Mont Verdun par le service de l'approche;
 - à l'officier de conduite des opérations¹⁰ et au chef aviation¹¹ de faire décoller l'hélicoptère de recherche et de sauvetage.

Les centres de contrôle situés à terre à portée radar de la collision ont reçu le signal IFF de détresse. En revanche, ce dernier n'a pas été reçu ou détecté par le porte-avions.

- 18 h 45 : l'hélicoptère décolle du porte-avions et se dirige vers la dernière position connue des deux avions définie par le contrôle aérien. La zone de recherche se situe à environ 30 Nm du porte-avions.
- 19 h 07 : l'équipage de l'hélicoptère contacte celui d'un avion de transport civil orbitant dans le secteur de la zone de recherche qui a perçu un appel radio de détresse. Evoluant à proximité de la zone de l'événement, il se détourne vers la zone de recherche, en liaison radio avec le porte-avions, et observe deux taches irisées à la surface de la mer. Il communique leurs coordonnées géographiques de l'endroit au contrôle aérien du porte-avions.
- 19 h 08 : l'équipage de l'hélicoptère perçoit un appel radio qui annonce entendre un hélicoptère.
- 19 h 09 : l'hélicoptère passe à la verticale de débris flottant à la surface de la mer parmi lesquels l'équipage identifie un radôme provenant d'un Rafale et reconnaît une dérive ou une partie d'aile.

¹⁰ L'officier de conduite des opérations coordonne les opérations aériennes et maritimes du bord.

¹¹ Le chef aviation gère le pont d'envol et le circuit d'approche.

Le contact radio est établi entre le pilote éjecté et l'hélicoptère à 19 h 13 : le pilote voit l'AIRBUS, tente de situer sa position par rapport à cet avion, et rend compte sommairement de son état de santé déclarant être blessé à un œil. L'équipage de l'AIRBUS demande au pilote d'économiser l'énergie de sa radio ainsi que ses fusées de détresse dans l'éventualité de la prolongation des recherches.

- 19 h 20 : l'équipage de l'hélicoptère voit un naufragé à bord d'un canot de sauvetage, et se place en vol stationnaire à sa verticale. L'ancre flottante est présente sous le canot, le parachute et des suspentes flottent entre deux eaux. Il est décidé de ne pas utiliser la civière (sauf appréciation différente par le plongeur au cours de son intervention) en raison :
 - du gain de temps au regard de la recherche en cours du deuxième pilote et de l'imminence de la tombée de la nuit ;
 - de la présence du parachute et des suspentes.
- 19 h 28 : le pilote treuillé à bord de l'hélicoptère est alors identifié : il s'agit d'Azur 420.
- 19 h 33 : les informations relatives aux circonstances de l'accident données par le pilote sont transmises au porte-avions.
- 19 h 40 : le pilote est pris en charge par l'équipe médicale du porte-avions. Il sera transféré le lendemain à l'hôpital d'instruction des armées de Toulon au moyen d'un hélicoptère médicalisé.
- Les opérations de recherches d'Azur 430, infructueuses, seront arrêtées le 27 septembre à 21 h 00.

2. ANALYSE

Après une phase de vol stabilisé à 11 000 pieds, le Rafale M22 se place en poste de manœuvre à gauche et environ 300 mètres du Rafale M25. Ils se séparent pour rejoindre leurs points de début de percée, et débutent individuellement un virage à gauche. Les avions entrent en collision au cours de ce virage.

L'analyse de cet événement comprend :

- l'exploitation des enregistrements recueillis afin de reconstituer les trajectoires finales des avions et les conditions dans lesquelles elles ont été réalisées ;
- la vérification de l'hypothèse de la collision des deux avions ;
- l'énoncé et la vérification des hypothèses relatives :
 - aux causes de l'événement ;
 - à l'absence d'abandon de bord par Azur 430 ;
 - aux conditions de l'éjection d'Azur 420.

2.1. Exploitation des enregistrements

2.1.1. Exploitation des paramètres des enregistreurs de vol

Les informations mémorisées par les enregistreurs de vol ont pu être intégralement extraites et exploitées. Ces données ont notamment permis de définir :

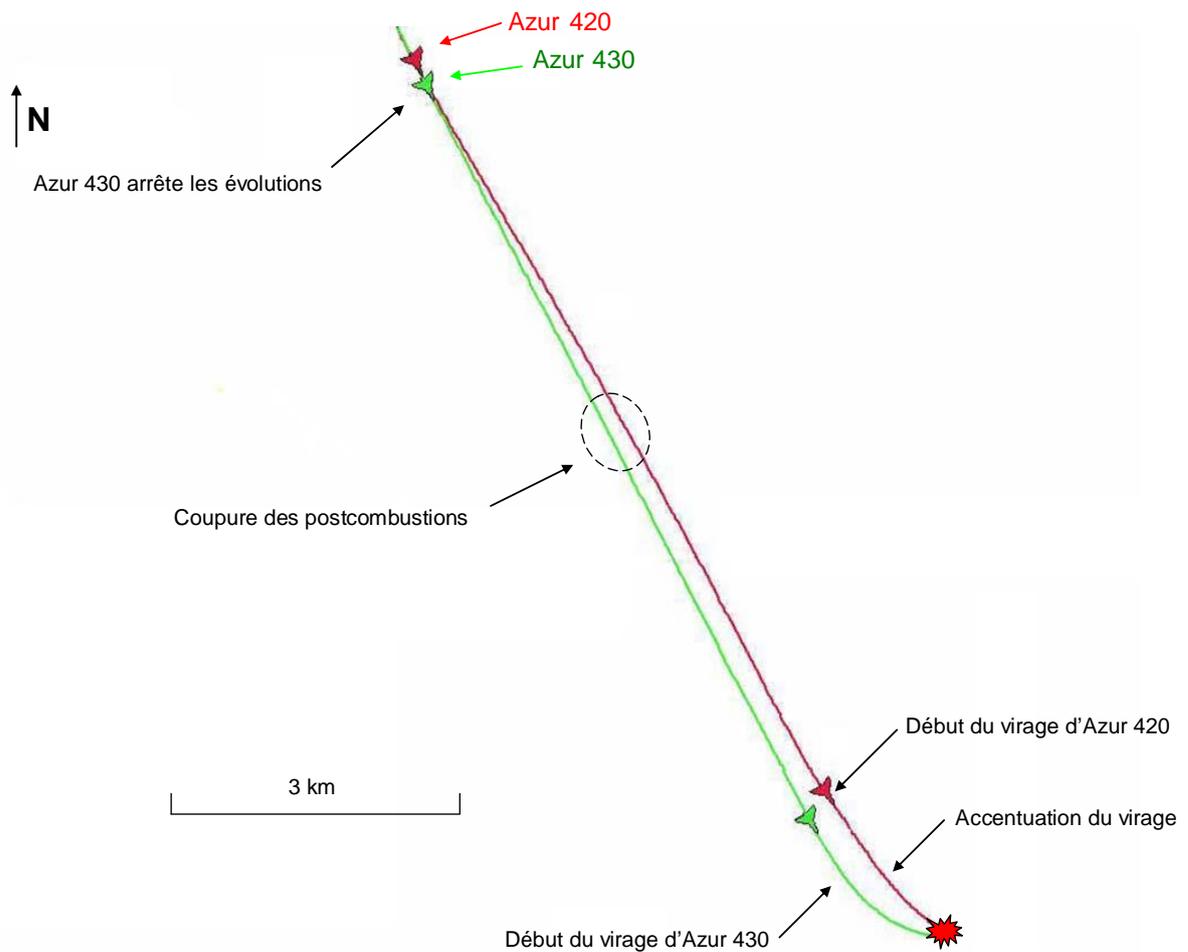
- les trajectoires ;
- les attitudes des avions et les actions des pilotes à l'instant de la collision ;
- les champs de vision sur l'environnement extérieur ;
- les états techniques des avions.

2.1.1.1. Trajectoires

La chronologie des vols au cours de la minute qui précède la collision (t_0) est la suivante :

Temps	Action
$t_0 - 3$ min	Azur 430 prend la conduite de la formation.
$t_0 - 39$ s	Azur 430 arrête les évolutions. Il se stabilise au cap 150, à 11 400 pieds et 490 kt.
$t_0 - 38$ s	Azur 420 qui se situe à environ 200 m à l'arrière d'Azur 430 stabilise à son tour dans des conditions voisines. Il prend une trajectoire rectiligne divergente de $3,5^\circ$ par rapport à celle d'Azur 430 et augmente progressivement son écartement par rapport à ce dernier.
$t_0 - 32$ s	Azur 430 coupe la postcombustion.
$t_0 - 30$ s	Azur 420 coupe la postcombustion.
$t_0 - 13$ s	Azur 420, éloigné d'Azur 430 de 340 m, se met en virage à gauche sous facteur de charge compris entre 1,5 et 2 g.
$t_0 - 8$ s	Après une inclinaison rapide et brève à gauche puis à droite voisines de 20° , Azur 430 se met en virage à gauche sous un facteur de charge de 4,7 g.
$t_0 - 5$ s	Azur 420 accentue son virage sous un facteur de charge compris entre 2,5 et 3 g.
t_0	Collision.

La projection des trajectoires sur un plan horizontal est représentée sur le schéma suivant :



Représentation schématique des trajectoires finales

2.1.1.2. Attitude des avions

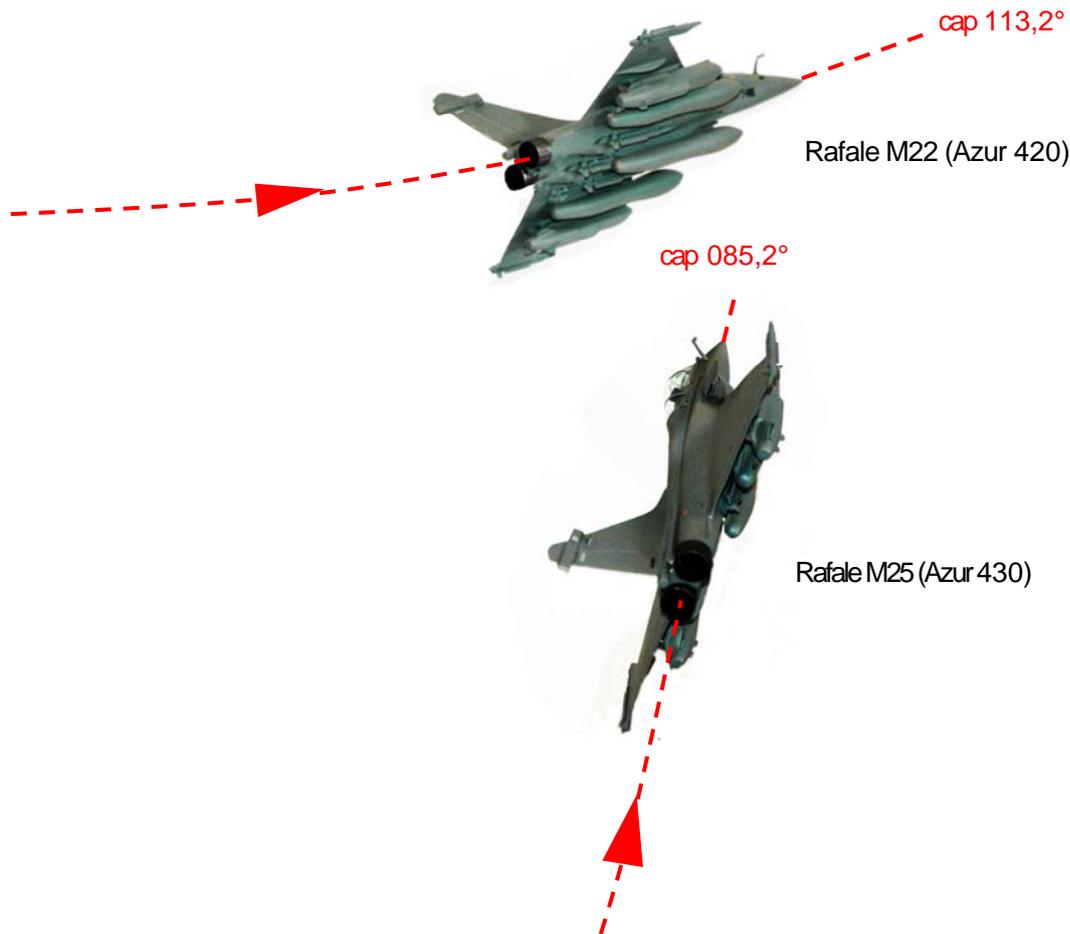
Lors de la collision, les paramètres de vol des avions sont les suivants :

– Rafale M22 (Azur 420) :

- cap : $113,4^\circ$;
- vitesse : 435,5 kt ;
- inclinaison latérale : 56° à gauche ;
- facteur de charge : 2,5 g.

– Rafale M25 (Azur 430) :

- cap : alors que le cap a diminué au cours du virage à gauche, son évolution s'inverse et augmente brutalement de $084,2^\circ$ à $085,2^\circ$ au cours des deux dixièmes de seconde qui précèdent la collision ;
- vitesse : 415,5 kt.



Représentation schématique des attitudes des avions immédiatement avant la collision
(vue de l'arrière et de dessus)

2.1.1.3. Actions des pilotes.

– Azur 420

Treize secondes avant la collision, Azur 420 se met en virage à gauche avec une inclinaison voisine de 30°, en appliquant un facteur de charge inférieur à 2 g. Trois secondes plus tard, il accentue le virage en inclinant à 65° sous un facteur de charge proche de 3 g. Dans la seconde précédant la collision, Azur 420 diminue lentement l'inclinaison.

– Azur 430

Juste avant la collision, Azur 430 applique brusquement et simultanément aux commandes un ordre en roulis à droite et un ordre à piquer. Ces ordres se traduisent par une réduction de l'inclinaison à gauche de 72° à 68° et du facteur de charge de 4,7 à 0,35 g.

2.1.1.4. Champs de vision sur l'environnement extérieur

Les champs de vision d'Azur 420 et d'Azur 430 sur l'environnement extérieur au cours de la phase de vol qui précède la collision ont été estimés par simulation. Il a été établi :

- la perte de possibilité d'observation d'Azur 430 par Azur 420 dès le départ en virage de ce dernier, l'inclinaison de son avion masquant l'avion d'Azur 430 jusqu'à la collision ;
- la possibilité d'observation d'Azur 420 par Azur 430 du début de la phase de vol rectiligne stabilisé jusqu'à la collision. En effet, du début de cette phase jusqu'à son départ en virage, Azur 420 se déplace lentement d'une position plein arrière jusqu'à une position située dans les huit heures d'Azur 430. Lors des trois dernières secondes précédant la collision, l'avion d'Azur 420 peut être vu par Azur 430 sous un relèvement quasiment constant, et un site évoluant lentement de 60° vers 40°.

En conséquence :

- **Azur 420 ne pouvait pas voir l'avion d'Azur 430 pendant le virage précédant la collision ;**
- **Azur 430 avait la possibilité de voir l'avion d'Azur 420 du début de la phase de vol stabilisée jusqu'à la collision.**

2.1.1.5. Etats techniques

Les états techniques mémorisés par les deux enregistreurs de vol témoignent :

- d'aucun dysfonctionnement des systèmes surveillés avant la collision ;
- de l'absence de départ du siège éjectable du Rafale M25.

2.1.2. Enregistrement des conversations radio entre les pilotes et le contrôle aérien du porte-avions

Les transcriptions des conversations échangées entre le contrôle aérien à bord du porte-avions et les deux pilotes, pour ce qui concerne les communications ayant trait au départ de la mission (U16) et au recueil (U17) figurent respectivement en annexe 1 et 2.

Les conversations peuvent être résumées comme suit :

- dans les premières minutes du vol au regard de la fiche de vol en sa possession, le pilote du Rafale M22 pense que l'indicatif « Azur 430 » lui est attribué. Le pilote du Rafale M25 demande au pilote du Rafale M22 d'adopter l'indicatif « Azur 420 ».
- Il s'avère que les feuilles de vol attribuées et embarquées par les pilotes ont été inversées avant le départ en mission ;
- Azur 420 annonce au contrôle aérien le début des évolutions à 17 h 55 min 07 s ;
- Azur 420 demande au contrôle les paramètres des points de recueil. En retour, le contrôle aérien lui fournit les informations demandées, et annonce le décalage des points « O » par rapport aux points initialement prévus par le bureau des vols et exposés au briefing, en raison de la proximité de la TMA¹² de Marseille ;
- Azur 420 prend contact avec le contrôle aérien sur la fréquence de recueil à 18 h 05 min 04 s. Le contrôle aérien lui demande de rappeler après la fin des évolutions ;
- à 18 h 07 min 44 s, le contrôle aérien annonce que le début de présentation est prévu dans quatre minutes ;
- Azur 420 confirme le retour vers le point « O » et l'ordre de présentation pour la percée : Azur 420 puis Azur 430. Le contrôle aérien collationne ;

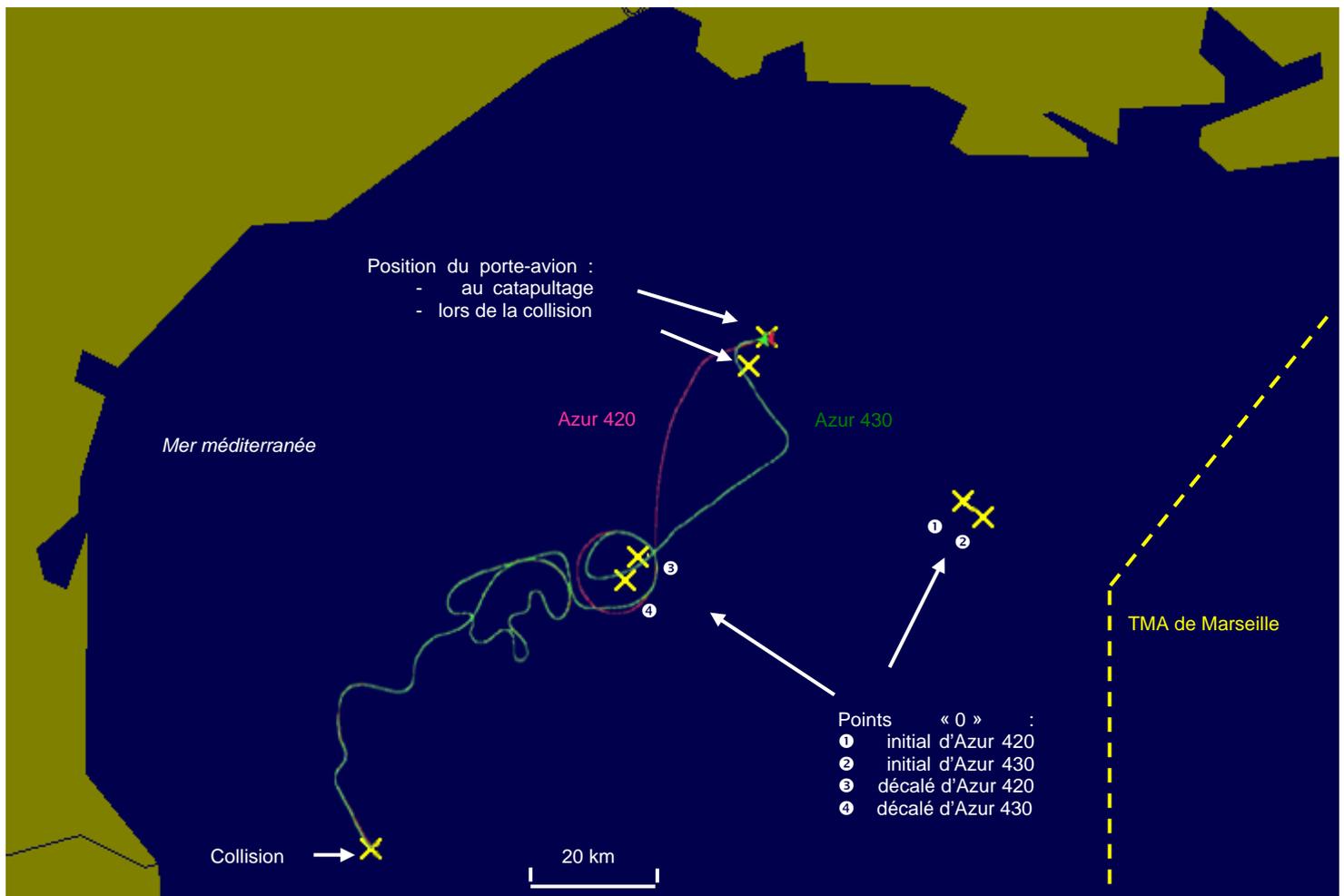
¹² TMA : *Terminal maneuvering area* – zone de contrôle terminal

- le contrôle donne les derniers paramètres du point « O » :
 - pour Azur 420 : 20 Nm, 10 000 pieds sur la radiale 210 ;
 - pour Azur 430 ; 22 Nm, 12 000 pieds sur la même radiale ;
 et demande à Azur 420 de rappeler pour la séparation ;
- la patrouille approchant de la limite des zones aériennes françaises, le contrôle ordonne à Azur 420 de tourner vers le point « O » à 18 h 09 min 37 s ;
- une émission est perçue par le contrôle sans réception de signal phonique ;
- le contrôle aérien perd le contact avec la patrouille.

2.1.3. Reconstitution de la zone du vol

L'ensemble des enregistrements a permis de reconstituer la zone du vol et ses points caractéristiques.

Les positions relatives de la zone du vol par rapport à celles du porte-avions, de la collision et des points « O » sont représentées sur le schéma suivant :



Représentation de la zone du vol et de ses points caractéristiques

2.2. Hypothèse de la collision des avions

Lors de l'événement, Azur 420 perçoit un bruit qui lui semble provenir de l'arrière de son avion, sans ressentir de choc, et appréhende un problème de moteur. Dans les instants qui suivent, la vue de l'avion d'Azur 430 et des flammes provenant de son moteur gauche lui laisse supposer la collision des avions.

Les principaux éléments de l'avant du Rafale M25, les débris d'un emport placé sous l'aile gauche du Rafale M22, ainsi que la balise de détresse installée dans le caisson de l'atterrisseur principal gauche de cet avion ont été retrouvés dans une aire éloignée des zones propres à chacune des épaves. L'observation de ces débris et leur localisation témoignent d'une collision des deux avions, et plus précisément d'**un choc violent entre l'avant du Rafale M25 et l'intrados de l'aile gauche du Rafale M22.**

L'analyse des endommagements observés sur les épaves rend certaine l'hypothèse de la collision des avions.

2.3. Hypothèses relevant du domaine environnemental

Les circonstances météorologiques dans la zone de travail sont bonnes. La patrouille évolue en ciel clair dans une zone où la visibilité est estimée à vingt kilomètres. Le vent est établi au cap 220° pour environ sept nœuds.

Ces conditions ne présentent pas de particularité susceptible d'affecter la sécurité de la mission.

Au regard de la position du soleil lors de l'événement et de l'orientation des trajectoires des avions au cours de la phase du vol stabilisé et du virage précédant la collision, les pilotes ne pouvaient pas être exposés à une altération de leur vision par éblouissement.

Par conséquent, l'hypothèse qu'une cause environnementale soit à l'origine de l'événement est rejetée.

2.4. Hypothèse relative à la manœuvrabilité des avions

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

Les éléments intervenant dans la manœuvrabilité du Rafale sont les commandes de vol et la motorisation. Il apparaît que :

- concernant les chaînes de commandes de vol, pour chaque avion, l'analyse des informations issues des enregistreurs de vol a montré la cohérence du mouvement des gouvernes avec les actions du pilote d'une part, celui du comportement de l'avion avec le braquage des gouvernes d'autre part ;
- concernant le fonctionnement des moteurs, les résultats de l'analyse des paramètres enregistrés a permis d'établir la conformité des performances des deux moteurs pendant tout le vol.

La cohérence du fonctionnement des commandes de vol et des moteurs montre que la manœuvrabilité de l'avion n'a été affectée par aucun dysfonctionnement.

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

2.5. Hypothèses relevant du facteur humain

Les paramètres enregistrés montrent une activité continue de chaque pilote sur les commandes de vol et la manette des gaz jusqu'à la collision. Ces activités sont cohérentes avec leurs intentions de réaliser un virage à gauche. Les facteurs de charge générés au cours de ces manœuvres et les ordres appliqués aux commandes de vol témoignent de la permanence de la conscience de chaque pilote.

Les hypothèses relatives aux causes de l'événement dans les domaines suivants peuvent être émises :

- la dynamique des trajectoires décrites lors du dernier virage ;
- une tentative d'évitement de la collision par Azur 430 ;
- l'altération des capacités physiologiques d'Azur 430 :
 - une incapacité subite en vol ;
 - une baisse de sa vigilance ;
- au plan de la perception visuelle :
 - l'observation d'Azur 420 par Azur 430 ;
 - une diminution de son attention ;
 - un défaut de perception du rapprochement des avions ;
- les projets d'action individuels ;
- la procédure de séparation ;
- la préparation de la mission et du vol en formation ;
- la gestion du vol ;
- le maintien de la compétence au vol en formation.

2.5.1. Dynamique des trajectoires décrites lors du dernier virage

Azur 420 effectue ce virage avec une inclinaison moyenne voisine de 65° et donc un facteur de charge ne dépassant pas 2,5 g. Azur 430 effectue ce même virage sous une accélération qui atteint 4,7 g. Par conséquent, le rayon du virage décrit par l'avion d'Azur 430 est nettement inférieur à celui décrit par l'avion d'Azur 420 et rend donc les trajectoires convergentes. D'autre part, le facteur de charge :

- peut affecter la perception visuelle d'Azur 430 en réduisant son champ de vision et par conséquent l'efficacité de son observation ;
- rend éprouvants les mouvements de la tête nécessaire à la couverture de l'espace visuel disponible en cabine.

L'hypothèse selon laquelle la différence des niveaux des facteurs de charges appliqués par Azur 420 et Azur 430 lors du dernier virage a contribué à rendre les trajectoires convergentes est certaine. Celui appliqué par Azur 430 a pu réduire ses capacités d'observation.

L'intensité du facteur de charge appliqué par Azur 430 au cours du dernier virage correspond au maximum subi par l'avion au cours du vol, et contraste avec le ton jusqu'alors souple de ce dernier.

2.5.2. Tentative d'évitement de la collision par Azur 430

Les ordres appliqués aux commandes par Azur 430 juste avant la collision sont semblables à une action d'évitement par le bas et par la droite.

L'hypothèse selon laquelle Azur 430 entreprend une manœuvre d'évitement de l'autre avion par la droite et par le bas juste avant la collision est probable.

2.5.3. Incapacité subite en vol d'Azur 430

- Problèmes neurologiques et cardiologiques :
 - La permanence de son activité aux commandes jusqu'à la collision et l'absence d'antécédent particulier tant neurologique que cardiologique permettent de rejeter cette hypothèse.
- Problèmes digestifs
 - Le pilote n'a émis aucun message radio faisant état d'un quelconque malaise.
 - Les denrées alimentaires composant le déjeuner collectif pris par Azur 430 le 24 septembre n'ont pas pu faire l'objet d'une analyse. Cependant, aucun problème digestif n'a été décelé auprès des personnes qui ont partagé ce même repas.
- Problèmes pulmonaires
 - Le pilote n'a pas manifesté de plainte 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.
- *G.LOC*¹³
 - La constance de l'application des ordres aux commandes montre que le pilote n'a pas subi de perte de conscience induite par le facteur de charge au cours du virage précédant la collision. Les évolutions réalisées depuis le début de ce vol étaient plus modérées que lors de ce virage où l'accélération verticale n'a pas dépassé 4,7 g. Le pilote était accoutumé à ces contraintes et n'a signalé aucun problème relatif au fonctionnement de son pantalon anti g au cours du vol.

L'hypothèse d'une incapacité subite en vol d'Azur 430 est rejetée.

¹³ *G-induced loss of consciousness* : perte de conscience induite par le facteur de charge.

2.5.4. Affaiblissement de la vigilance d'Azur 430

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 le jour de l'événement, et qu'il ne pouvait vraisemblablement pas être en état d'hypoglycémie lors de l'événement ;
- la fatigue :
 - les accélérations modérées subies au cours du vol n'étaient pas en mesure d'induire une fatigue notable 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 rejetée ;
- l'effet de médicaments :
 - il n'a pas été constaté de prescription médicale dans les jours précédant l'événement.

L'hypothèse d'un affaiblissement de la vigilance due à l'hypoxie, la fatigue, l'hypoglycémie, ou l'effet de médicaments est rejetée.

2.5.5. Observation d'Azur 420 par Azur 430

Au regard :

- des trajectoires des avions au cours de la phase de vol qui précède l'événement ;
- des conditions du visuel dont dispose Azur 430 sur l'avion d'Azur 420 ;
- des dernières actions d'Azur 430 sur les commandes de vol ;

Il est probable qu'Azur 430 ne voit pas l'avion d'Azur 420 pendant le début de son virage et qu'il prend conscience de sa présence lors des tout derniers instants qui précèdent la collision.

La surveillance visuelle exercée par Azur 430 ne lui a pas permis de détecter l'autre avion.

2.5.6. Diminution de l'attention d'Azur 430

Lors de la campagne d'essais en cours, dont le but est d'éprouver le dispositif de catapultage, la participation aérienne aux essais proprement dits s'achève dès la fin du catapultage. La mission est qualifiée de simple, le vol est routinier, et la charge de travail associée est faible.

Le processus qui affecte les ressources du pilote à un intérêt particulier est vraisemblablement peu actif au cours de la phase de vol qui précède l'événement. Cette faible activité peut alors pénaliser l'attention d'Azur 430 qui n'aperçoit l'avion d'Azur 420 qu'aux tout derniers instants qui précèdent la collision.

L'aspect routinier du vol et la faible charge de travail associée ont pu favoriser la diminution de l'attention d'Azur 430.

Quatorze secondes avant la collision, l'avion d'Azur 430 s'incline de 15° à gauche pendant quatre secondes puis de 15° à droite pendant quatre secondes avant de partir en virage à gauche jusqu'à la collision. De par leur intensité, leur symétrie et le contexte, il paraît vraisemblable que ces actions soient volontaires et correspondent à une routine dans la surveillance du ciel effectuée par le pilote, à gauche puis à droite, avant d'initier un virage. Lors de ces inclinaisons, l'avion d'Azur 420 se situe dans ses huit heures avec un étagement sensiblement nul. Il ne se trouve pas dans les masques de l'avion et ne se situe pas dans le champ de vision frontale du pilote.

La surveillance du ciel probablement effectuée par Azur 430 avant l'exécution du dernier virage ne lui a pas permis de voir l'autre avion.

La surveillance visuelle probablement exercée par Azur 430 avant d'initier le virage précédant la collision ne lui a pas permis de détecter l'autre avion, situé dans ses huit heures à la même altitude et en dehors des masques.

2.5.7. Perception du rapprochement des avions

De par le caractère conflictuel des trajectoires, la mobilité apparente de l'avion piloté par Azur 420 par rapport à l'autre avion est très réduite, notamment au cours des dernières secondes où la variation du relèvement de cet avion est faible.

L'hypothèse que l'attention d'Azur 430 n'ait pas été alertée par la mobilité relative réduite de l'autre avion est probable.

Au cours du dernier virage, le niveau de l'accélération verticale subie par Azur 430 a pu pénaliser physiologiquement sa capacité de détection visuelle. Il est vraisemblable qu'au cours de cette manœuvre, en raison de la contrainte liée à l'accélération, le pilote ait eu tendance à limiter l'amplitude des mouvements de sa tête et qu'il ait partagé son attention entre sa vision frontale et les informations de navigation en cabine lisibles notamment sur l'écran du collimateur tête haute.

L'hypothèse que la capacité d'observation d'Azur 430 ait été pénalisée par le facteur de charge et l'affectation d'une partie de son attention à la lecture d'informations de navigation en cabine est probable.

2.5.8. Projets d'actions individuels

Azur 430 donne l'ordre de liberté de manœuvre à Azur 420 alors que la formation n'est pas encore stabilisée en cap et en altitude. Azur 420 témoigne avoir attendu qu'Azur 430 stabilise le vol de la patrouille avant d'exécuter l'ordre de liberté de manœuvre. Il s'écoule ainsi au moins 26 secondes entre la stabilisation d'Azur 430 et le début du virage d'Azur 420.

Ce délai a pu favoriser un écart entre les appréciations de la situation par les pilotes : Azur 430, dont le départ en virage a lieu au moins 31 secondes après qu'il ait donné l'ordre de liberté de manœuvre, a pu considérer qu'Azur 420 avait engagé la séparation dès qu'il le lui a signifié. Son schéma d'action a pu être conforté par l'importance de ce délai synonyme d'un éloignement conséquent, inhibant toute restriction éventuelle à la réalisation d'un virage serré.

La temporisation de l'exécution de l'ordre de liberté de manœuvre par Azur 420 a pu permettre la surestimation de l'éloignement de ce dernier par Azur 430.

Aucune communication n'a eu lieu après l'émission de l'ordre de liberté de manœuvre par Azur 430. Les pilotes ne se sont pas informés mutuellement de leurs intentions immédiates. L'analyse de la séquence de l'accident montre que les représentations mentales de la situation se sont vraisemblablement décalées depuis l'émission de l'ordre de liberté de manœuvre.

L'hypothèse que des représentations mentales de la situation différentes n'aient pas alerté les pilotes de l'aspect conflictuel des trajectoires est probable.

2.5.9. Procédure de séparation des avions

La séparation des avions fait suite à l'ordre de liberté de manœuvre donné par Azur 430. L'expression de cet ordre est dépourvue de directives temporelles, géographiques et cinématiques. Il ne peut donc à lui seul fiabiliser les trajectoires et garantir la sécurité des avions pendant cette phase du vol. La possibilité d'interférence des trajectoires n'est ni envisagée, ni vérifiée.

Lors de la phase de vol stabilisé qui fait suite à l'ordre de liberté de manœuvre, l'espacement entre les deux avions, qui est alors de plusieurs centaines de mètres, s'accroît. Puis l'exécution des virages comportant des rayons différents réduit progressivement l'écart latéral. D'autre part, les avions évoluant à des altitudes quasi identiques, la collision consécutive à la convergence des trajectoires témoigne de fait de l'absence de séparation en altitude.

L'hypothèse que l'imprécision de la procédure de séparation des avions, notamment l'absence de consignes pour rejoindre les points « O » respectifs, ait contribué à l'événement est certaine.

L'imprécision constatée de la procédure peut être expliquée par :

- un fonctionnement cognitif en mode mental automatique dans un contexte de vol routinier ;
- une absence d'affirmation de l'autorité dans ce vol entre pairs ;
- une sous-estimation des dangers associés à la manœuvre ;
- un briefing minimal ;
- un manque d'expérience récente d'Azur 430 dans la conduite d'une formation.

2.5.10. Préparation de la mission et du vol en formation

Les deux pilotes sont familiers et la reconnaissance de leurs compétences respectives est réciproque.

Lors de la préparation de la mission, ils ont assisté au briefing propre à l'essai en salle d'alerte, puis à celui présenté par le bureau des vols du bord sur les éléments administratifs du vol. Azur 430 a déclaré l'intention de rassemblement des deux avions à l'issue du catapultage afin d'effectuer des manœuvres coordonnées. Il a fait inscrire les caractéristiques du point de rassemblement sur les fiches émises par le bureau des vols du porte-avions, et a visé ces dernières. Au cours de ce briefing, Azur 420 a régulièrement témoigné de la réception et de la compréhension des directives.

Le briefing relatif à la phase du vol concernant le rassemblement jusqu'à la séparation de la patrouille a été réalisé avant de rejoindre le bureau technique aviation. Il a été ainsi prévu que le vol comprenne une période de vol en formation comptant deux phases, et que la conduite de la patrouille soit assurée par Azur 420 au cours de la première, puis par Azur 430 au cours de la seconde.

Les ordres de vol font état de deux missions distinctes. Azur 430 a déclaré le rassemblement des avions au bureau des vols. Le contrôle aérien a alors considéré que les deux avions constituaient de fait une patrouille.

Azur 420 décolle le premier et va conduire la patrouille pendant la première période du vol puis transmettre la conduite à Azur 430 après quinze minutes de vol.

La chronologie de l'événement depuis l'émission de l'information de liberté de manœuvre jusqu'à la collision révèle la fragilité du projet d'action de l'équipage que devait construire le briefing en fonction des situations envisagées, notamment lors des phases les plus délicates du vol telle que la séparation de la patrouille :

- l'ordre de liberté de manœuvre est donné alors que les avions sont sur une trajectoire non stabilisée, en descente. Azur 420 estime que leurs attitudes, à cet instant, ne permettent pas son éloignement de façon sûre et diffère la séparation tant que la patrouille n'est pas stabilisée ;
- la patrouille stabilisée, Azur 420 attend d'Azur 430 des informations concernant la cinématique à adopter pour rejoindre individuellement le point « O » ;
- cette procédure n'a pas été abordée au briefing d'avant vol et Azur 430 n'a pas donné les informations attendues d'Azur 420.

Le briefing d'avant vol n'a pas organisé avec rigueur les actions de l'équipage attendues lors de la séparation des avions et la procédure du retour vers le point « O » après le vol en formation.

La rapidité du briefing peut avoir pour origine l'aspect routinier de la mission et la sous-estimation des difficultés associées à cette phase du vol.

L'hypothèse selon laquelle la préparation du vol n'a pas permis à Azur 430 de conduire la séparation des avions en sécurité conformément à un canevas préétabli est probable.

2.5.11. Gestion du vol

L'atmosphère du vol est détendue, sa durée prévue est courte, et les communications radio sont faibles. Azur 430 fait équipe avec un pilote compétent qui lui est familier. Le vol se déroule entre pairs, dans un climat de confiance avec une complémentarité d'expérience pour gérer les situations.

La phase de vol en formation n'a pas fait l'objet d'une préparation particulière. Malgré la prise en compte de la conduite de la patrouille, Azur 430 laisse à Azur 420 la gestion des communications radio avec le contrôle aérien. Azur 420 rappelle ainsi à Azur 430 qui conduit la patrouille dans cette période du vol, le temps restant avant de rejoindre le point « O ». Azur 430 semble avoir implicitement délégué certaines activités à son équipier qui doit prendre l'initiative d'exécution de tâches importantes.

La concomitance des facteurs précités peut être considérée comme révélatrice d'un déficit de synergie au sein de la patrouille.

L'ambiguïté dans le statut de l'interaction entre les pilotes et le style de leadership observé peuvent avoir favorisé l'absence de pré-activation des schémas mentaux et l'émergence de stratégies inadaptées à la gestion de l'anticollision.

L'hypothèse qu'un déficit de synergie entre les deux pilotes ait appauvri la gestion du vol est possible.

2.5.12. Maintien de la compétence des pilotes au vol en formation

Azur 420 et Azur 430 totalisent respectivement 2 850 et 4 850 heures de vol, dont 156 et 230 sur Rafale. Azur 420 est affecté au CEPA depuis deux ans. Azur 430 est affecté au CEV depuis neuf ans. Ils sont tous les deux titulaires de la qualification de chef de patrouille et chef de dispositif qu'ils ont acquis au cours de leurs affectations antérieures, en flottilles opérationnelles. La phase de vol en formation n'a pas fait l'objet d'une préparation particulière. Depuis le début de leur activité de pilotes d'essais, ils ont pratiqués le vol en formation de façon occasionnelle, dans la mesure où le contexte des vols d'essais le permettait. L'exercice de cette activité n'entraîne pas dans le cadre d'un programme d'entraînement spécifique, et ne comportait pas de débriefing propre à cet exercice.

Il n'a donc pas été réalisé de contrôle de la performance dans ce domaine. En conséquence, la capacité d'Azur 430 à la conduite de formation n'était pas évaluée. En revanche, celle d'Azur 420 dans ce domaine était mise à l'épreuve régulièrement lors des vols d'entraînement effectués en unité opérationnelle.

Au cours de cette mission :

- la phase de vol en formation n'a pas fait l'objet d'une préparation particulière ;
- Azur 430 délègue implicitement à Azur 420 la réalisation des communications radio avec le contrôle aérien ;
- Azur 420 en fonction d'équiper, rappelle à Azur 430 en fonction de leader le temps restant avant de rejoindre le point « O ».

Ces éléments peuvent révéler une déficience des capacités d'Azur 430 à assurer la fonction de leader de la formation.

Bien qu'Azur 430 détienne la qualification de chef de patrouille, indispensable dans l'aéronautique militaire pour conduire une formation, la rareté et l'irrégularité de cet exercice dans son activité récente ont pu affecter son aisance dans ce domaine lors du vol de l'événement.

2.6. Abandon de bord

2.6.1. Abandon de bord d'Azur 430

L'avion d'Azur 430 tombe à la mer une minute après la collision. Les informations mémorisées par l'enregistreur d'accident du Rafale M25 relative à cette période ont été exploitées afin d'analyser :

- le fonctionnement du circuit d'oxygène et le conditionnement ;
- le mouvement des commandes ;
- le fonctionnement du siège éjectable.

2.6.1.1. Conditionnement et oxygène

L'exploitation des paramètres relatifs au conditionnement de la cabine et à l'oxygène n'a pas permis de déterminer l'existence ou l'absence de débit d'oxygène après la collision.

2.6.1.2. Mouvement des commandes après la collision

- Bien que l'état de dégradation de l'avion après la collision rende douteuse la validité des informations recueillies, **les mouvements sur les commandes de profondeur, gauchissement et direction ne présentent plus de critères significatifs d'une dynamique de pilotage** ;
- la position de la manette des gaz est quasiment constante ;
- les changements d'état de paramètres liés à une action sur les contacteurs de la manette des gaz, n'ont pas pu être exploités.

2.6.1.3. Siège éjectable

Les investigations menées sur l'épave de l'avion M25 ont permis de constater que :

- le siège était désolidarisé de la cellule par arrachement des éléments de liaison ;
- la poignée d'éjection était positionnée hors de son logement. Ce déplacement a été estimé entre trois et quatre centimètres sans qu'il soit possible d'évaluer s'il était suffisant pour commander le dispositif d'éjection ;
- des mécanismes du siège ont fonctionné, certains n'ont pas été activés et d'autres sont dans un état incertain ;
- le siège n'a pas été propulsé : les poussées initiale et additionnelle n'ont pas été générées ;
- l'état de la partie transparente restante de la verrière était incompatible avec un éventuel découpage pyrotechnique.

Le fonctionnement constaté des mécanismes ne peut être effectif, par conception, qu'après le départ du siège.

L'état du siège éjectable et de ses mécanismes n'a pas permis d'identifier un dysfonctionnement, ni une éventuelle tentative d'éjection du pilote.

L'analyse de l'état du siège de l'avion M25 et de son environnement rend probable l'hypothèse du fonctionnement désordonné et intempestif de ses mécanismes provoqué par les dommages de la cellule de l'avion subis lors de la collision en vol et l'impact avec la mer.

2.6.1.4. Conclusion

L'état de conscience du pilote au cours de cette période du vol n'a pas pu être évalué. Les investigations n'ont pas décelé d'activité de pilotage après la collision. Aucun indice n'a permis de mettre en évidence une éventuelle tentative d'éjection.

2.6.2. Ejection d'Azur 420

L'éjection a été commandée dans le domaine d'utilisation du siège éjectable. Néanmoins, au cours de l'opération le pilote a été blessé et son casque a été endommagé.

2.6.2.1. Equipements de tête d'Azur 420

La partie supérieure du casque et le cimier présentent une trace de choc et sont criblés de petits impacts. La visière transparente est brisée et présente de nombreuses traces d'impacts, la partie gauche est absente, correspondant à environ 30% de son intégralité. Des traces de criblage sont constatées sur la surface extérieure gauche du masque à oxygène.



Ligne de rupture de
la visière

Casque d'Azur 420



Traces de choc

Cimier du casque d'Azur 420

L'expertise des équipements a montré que des particules de plomb à haute température ont été projetées par la détonation du cordeau pyrotechnique lors du découpage de la verrière.

La visière du casque n'a pas protégé le visage du pilote. Ce dernier témoigne de la position abaissée de la visière transparente au cours de la phase du vol qui a précédé l'événement.

L'analyse des blessures et de l'état du casque a mis en évidence qu'aucune des deux visières n'était en position basse lors du découpage de la verrière.

Lors de l'événement, l'avion a subi de violents changements d'attitude au cours desquels le pilote et son équipement ont été soumis à des facteurs de charges qui ont pu provoquer le heurt du masque avec le gilet de sauvetage.

Il a été vérifié que dans les conditions précitées, le heurt du masque du pilote avec le gilet de sauvetage peut générer un effort brutal sur la visière et la relever.

Lors de l'éjection, l'avion est sur le dos avec une assiette négative. Ce contexte aérodynamique ne permettait pas l'évacuation de débris de la verrière par l'effet du vent relatif avec la meilleure efficacité.

L'endommagement du casque et de la visière transparente par un choc avec un débris de la verrière est probable.

3. CONCLUSION

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

- Le vol a lieu dans le cadre d'une mission routinière de courte durée qui ne présente pas de difficulté particulière.
- La collision survient après une phase de vol stabilisé, lors de la réalisation d'un virage.
- Azur 420 ne pouvait pas voir l'avion d'Azur 430 pendant le virage.
- Azur 430 pouvait voir l'avion d'Azur 420 pendant le virage jusqu'à la collision.
- Azur 430 semble prendre conscience de la présence de l'autre avion lors des tout derniers instants qui précèdent la collision.
- Aucun dysfonctionnement de la manœuvrabilité des avions n'a été constaté.
- Azur 430 n'a pas fait l'objet d'une incapacité subite en vol.
- La différence des taux de virage adoptés par Azur 420 et Azur 430 après la séparation a contribué à la convergence des trajectoires.
- La phase de vol en formation n'a pas fait l'objet d'une préparation particulière, notamment celle concernant la séparation.
- Le vol en formation est occasionnel pour Azur 430, et ne fait pas l'objet d'un programme d'entraînement spécifique depuis le début de son activité de pilote d'essais.

3.2. Causes de l'événement

Les causes de l'événement relèvent du facteur humain.

La surveillance visuelle présumée exercée par Azur 430 ne lui a pas permis de détecter l'autre avion. Il est probable que son attention n'ait pas été alertée par la mobilité relative réduite de ce dernier.

L'individualité des projets d'action des pilotes a vraisemblablement contribué à l'événement : il est probable que des schémas mentaux inadaptés ont favorisé des représentations de la situation différentes et n'ont pas alerté les pilotes de l'aspect conflictuel des trajectoires.

L'imprécision de la procédure de séparation des avions, notamment l'absence de consigne pour rejoindre les points « O » respectifs, n'a pas permis d'éviter la convergence des trajectoires.

Le contexte routinier du vol et la faible charge de travail occasionnée ont affaibli les défenses des pilotes contre les dangers de la manœuvre de séparation des avions. Les causes de cette déficience peuvent résulter :

- d'une absence d'affirmation de l'autorité dans ce vol entre pilotes de même qualification ;
- d'une sous-estimation des dangers associés à la manœuvre ;
- d'un briefing minimal ;
- d'un manque d'expérience récente d'Azur 430 pour le vol en patrouille.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

4.1.1. Briefing

Afin de pré-activer la connaissance et favoriser la construction de projets d'actions, le BEAD-air rappelle la nécessité de réaliser, dans le cadre de vols répétitifs, un briefing reconstruit préalablement à chaque mission.

Dans le but de renforcer la sensibilisation des équipages aux étapes-clés des missions aériennes et aux paramètres associés, le BEAD-air recommande à la DGA Essais en vol

de faire apparaître sur le cahier d'ordres les caractéristiques des actions principales de la mission aérienne et, de façon synthétique, les objectifs à atteindre.

4.1.2. Procédure de séparation des avions d'une formation

L'analyse a montré la contribution de l'imprécision de la procédure de séparation des avions à l'événement.

La notion de liberté de manœuvre est apprise au cours de la formation au pilotage, sous forme de tradition orale. Elle n'est pas formalisée et peut, par conséquence, permettre des divergences d'interprétation. L'émission de l'ordre de liberté de manœuvre peut être suffisante pour permettre la séparation sécurisée des avions d'une formation à condition qu'elle ait été précédée d'un briefing définissant les éléments propres à chaque appareil.

Aussi, afin d'apporter la précision attendue des ordres donnés lors des vols en formation le BEAD-air recommande à tous les organismes effectuant des vols en formation

de formaliser :

- la procédure de séparation des avions lors des vols en formation ;
- la notion de liberté de manœuvre lorsqu'elle est utilisée.

4.1.3. Communication

Lors de l'événement, les paramètres d'exécution de l'ordre de liberté de manœuvre n'ont pas été précisés, et les intentions de chaque pilote n'ont pas été communiquées.

Le BEAD-air rappelle la nécessité, pour favoriser et fiabiliser la conscience de la situation par les pilotes, de partager les informations et d'exprimer leurs intentions.

4.1.4. Organisation

Les causes de l'événement sont liées au vol en patrouille. Le BEAD-air recommande à la DGA Essais en vol

- de mener une réflexion sur :
 - la pratique du vol en patrouille par les pilotes d'essais ;
 - les modalités du maintien du savoir faire de ces derniers dans ce domaine ;
- le contrôle du niveau d'entraînement des pilotes d'essais au vol en patrouille.

4.1.5. Moyens de sauvegarde

Afin de réduire le risque de collision en vol entre aéronefs, le BEAD-air recommande au commandement de la force de l'aéronautique navale et à l'armée de l'air en liaison avec la DGA

de mener une réflexion sur la pertinence du développement d'un système embarqué d'alerte de trafic et d'évitement de collision adapté aux avions d'armes.

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

Manœuvre du parachute

Lors de la descente sous voile, les commandes de manœuvre du parachute n'ont pas été utilisées par le pilote éjecté. En effet, le vent faible n'a pas justifié l'amerrissage face à celui-ci.

Par vent fort, il importe que l'utilisateur se place face au vent pour amerrir et réduire ainsi les possibilités d'immersion des voies aériennes. Or, l'instruction dispensée aux équipages de Rafale Marine pour un amerrissage avec la voile GQ 5000 équipant le siège éjectable MK16 ne prévoit pas cette précaution. En conséquence, le BEAD-air recommande au commandement de la force de l'aéronautique navale

d'adapter l'instruction dispensée aux équipages de Rafale Marine au parachute utilisé.

ANNEXES

Annexe 1 : Communications propres au départ de la mission (U16) _____ page 46

Annexe 2 : Communications propres au recueil de la mission (U17) _____ page 49

ANNEXE 1

Communications propres au départ de la mission (U16)

Emetteur	Destinataire	Heure	Communications	Observations
AZUR 420	DEPART U16	17h 48mn 28s	« AZUR 22 – AZUR 430 »	1 ^{er} contact après catapultage
DEPART U16	AZUR 420		« 22 »	
DEPART U16	AZUR 420		« Confirmer AZUR 420 – AZUR 22 ? »	
AZUR 420	DEPART U16		« Oui 420 »	
DEPART U16	AZUR 420		« Cause TMA Marseille, vous propose radiale de rassemblement avec 430, radiale 210 ° bâtiment 10 000 ft »	
AZUR 420	DEPART U16		« 210° 20 Nm 10 000 ft »	
DEPART U16	AZUR 420	17h 49mn 00s	« AZUR 420 le rassemblement s'effectuera par virage à droite cause TMA Marseille »	
AZUR 420	DEPART U16		« Par virage à droite ! »	
DEPART U16	AZUR 420	17h 49mn 18s	« AZUR 420 recycler 3620 au transpondeur »	
AZUR 420	DEPART U16	17h 49mn 28s	« Ouais je vous confirme que c'est AZUR 430 la fiche que j'ai ! »	
DEPART U16	AZUR 420	17h 49mn 39s	« Reçu »	
AZUR 430	DEPART U16	17h 50mn 41s	« AZUR 22 – AZUR 430 »	
DEPART U16	AZUR 430	17h 50 mn 46s	« 430 – confirmer AZUR 25 ? »	
AZUR 430	DEPART U16		« AZUR 25 ! »	
DEPART U16	AZUR 430		« Reçu AZUR 25, rassemblement avec le n°1 dans votre 240 pour 13 Nm, pour éviter la TMA Marseille virez immédiatement au cap 240 »	
AZUR 430	DEPART U16		« Reçu »	
AZUR 430	AZUR 420		« AZUR 22 tu prends AZUR420 j'ai les éléments »	AZUR 25 parle à AZUR 22
AZUR 420	DEPART U16	17h 51mn 17s	« Et stable 10 000 ft »	AZUR 420 confirme prendre cet indicatif

Emetteur	Destinataire	Heure	Communications	Observations
DEPART U16	AZUR 420		« Reçu AZUR 420 le n° 2 radiale 060 de votre position pour 14 Nm »	
AZUR 420	DEPART U16		« 420 »	
AZUR 430	DEPART U16		« AZUR 25 en montée vers 10 000 f » ^t	
DEPART U16	AZUR 430		« Reçu AZUR 430 le leader stable 10 000 ft dans votre 230 10 Nm »	
AZUR 430	DEPART U16		« Reçu »	
AZUR 420	DEPART U16	17h 51mn 52s	« AZUR 420 430 ce sera pour des évolutions entre 5 et 18 000 si possible »	
DEPART U16	AZUR 420		« Reçu sur la position ? »	
AZUR 420	DEPART U16		« Oui sur la position, vous préférez plus à l'est ou plus à l'ouest ? »	
DEPART U16	AZUR 420		« Affirm à l'ouest de votre position entre 5 et 18 000 »	
AZUR 420	DEPART U16		« Reçu, confirmez la route AVIA ? »	
DEPART U16	AZUR 420		« Je vous rappelle »	
DEPART U16	AZUR 420		« 310° la route de ramassage »	
AZUR 420	DEPART U16		« 310° ! »	
AZUR 430	DEPART U16	17h 52mn 41s	« AZUR 430 visuel sur 420 »	
DEPART U16	AZUR 430		« Reçu rappelez rassemblés 420 et 430 »	
KIMONO440 ¹⁴	DEPART U16	17h 52mn 57s	« KIMONO 4 – KIMONO 441 »	
DEPART U16	KIMONO 440		« 4 ! »	
DEPART U16	KIMONO 440		« KIMONO 440 confirmez radiale de départ hauteur ? »	
KIMONO 440	DEPART U16		« KIMONO 440 cap 260° 3000 ft »	
DEPART U16	KIMONO 440		« Reçu KIMONO 440 je vous rappelle »	

¹⁴ KIMONO : Super Etendard modernisé

Emetteur	Destinataire	Heure	Communications	Observations
KIMONO 440	DEPART U16		« 440 »	
DEPART U16	KIMONO 440	17h 54mn 27s	« KIMONO 440 contacter "Blue crown" et Rhodia 317.5 »	
KIMONO 440	DEPART U16		« "Blue crown" et Rhodia KIMONO 440 »	
AZUR 420	DEPART U16	17h 55mn 07s	« 420 430 début d'évolution à l'est de la position entre 5 et 18 0000 ft »	
DEPART U16	AZUR 420		« Je confirme à l'ouest de la position, AZUR 420 »	
AZUR 420	DEPART U16		« Affirm, à l'ouest »	
DEPART U16	AZUR 420		« Correct, rappelez fin »	
AZUR 420	DEPART U16	18h 03mn 23s	« Approche du 420 430, confirmez qu'on pourra rejoindre les points « o » ou ce sera des points « o » décalés ? »	
DEPART U16	AZUR 420		« 420 430 ce seront des points « o » décalés »	
AZUR 420	DEPART U16		« Reçu »	
AZUR 420	DEPART U16		« Sur quelle position ? »	
DEPART U16	AZUR 420		« Radiale décalée 210° »	
AZUR 420	DEPART U16		« Reçu 210° »	
AZUR 420	DEPART U16	18h 04mn 26s	« Les AZUR est ce qu'on peut rejoindre une route moyenne vers une radiale 210° ? »	
DEPART U16	AZUR 420		« Affirm 420 430 »	
AZUR 420	DEPART U16		« Reçu donc, 420 430 on transit tranquillement vers une radiale 210° »	
DEPART U16	AZUR 420		« Confirmez que vous avez fini le travail ? »	
AZUR 420	DEPART U16		« Négatif, on continue le travail mais vers les points « o » respectifs »	
DEPART U16	AZUR 420		« Reçu »	
DEPART U16	AZUR 420		« 420 430 changez U17 »	
AZUR 420	DEPART U16		« 420 on passe 17 »	

ANNEXE 2

Communications propres au recueil de la mission (U17)

Emetteur	Destinataire	Heure	Communications	Observations
AZUR 420	RECUEIL U17	16h 05mn 04s	« 420 Check »	Check radio entre pilotes
AZUR 420	RECUEIL U17		« 430 fréquence »	Check radio entre pilotes
AZUR 420	RECUEIL U17		« 420-430 fréquence ! »	
RECUEIL U17	AZUR 420		« Azur 420-430 identifiés, rappelez pour la présentation »	
AZUR 420	RECUEIL U17		« On est toujours en évolution actuellement. »	
RECUEIL U17	AZUR 420	16h 07mn 44s	« Azur 420-430 U17 pour contact »	
AZUR 420	RECUEIL U17		« 5 sur 5 »	
RECUEIL U17	AZUR 420		« J'ai un début de présentation pour vous dans 4mn, confirmez en retour vers le point « O ». »	
AZUR 420	RECUEIL U17		« Affirmatif. »	
RECUEIL U17	AZUR 420	16h 08mn 21s	« Azur 420-430 confirmez ce sera une percée dans l'ordre 22 et 25 ? »	
AZUR 420	RECUEIL U17		« Affirmatif 22 et 25. »	
RECUEIL U17	AZUR 420		« Reçu, pour 22 ce sera un point « O » 20 nautiques 10 000 pieds sur la radiale 210° et pour Azur 25 ce sera 22 nautiques 12 000 pieds. »	
AZUR 420	RECUEIL U17		« 22 – 12 000 et 20 nautiques 10 000 pieds. »	

Emetteur	Destinataire	Heure	Communications	Observations
RECUEIL U17	AZUR 420		« <i>C'est correct, rappelez pour la séparation.</i> »	
AZUR 420	RECUEIL U17		« <i>Reçu</i> »	
AZUR 420	RECUEIL U17	16h 05mn 04s	« <i>420 Check</i> »	Check radio entre pilotes
RECUEIL U17	AZUR 420	16h 09mn 37s	« <i>Azur 420-430 retournement vers le point Oscar, vous arrivez en limite des zones françaises</i> ».	
AZUR 420	RECUEIL U17		« »	Coup d'alternat de la part du pilote
RECUEIL U17	AZUR 420	16h 10mn 03s	« <i>Azur 22, le début de percée dans 3mn maintenant, confirmez en route vers le point Oscar 20 nautiques 10 000 pieds radiale 210 degrés ?</i> »	
RECUEIL U17	AZUR 420	16h 10mn 07s	« <i>Azur 420-430 le recueil pour contact ?</i> »	
RECUEIL U17	AZUR 420	16h 10mn 19s	« <i>Azur 420-430 le recueil pour contact ?</i> »	Plusieurs appels sans réponse seront lancés par la suite sur cette fréquence et 243.0