

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

Rapport d'enquête de sécurité



A-2017-13-A

Date de l'évènement	28 septembre 2017
Lieu	Aéroport international de N'Djamena (Tchad)
Type d'appareil	Mirage 2000N
Organisme	Armée de l'air

AVERTISSEMENT

UTILISATION DU RAPPORT

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

COMPOSITION DU RAPPORT

Les faits, utiles à la compréhension de l'évènement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'analyse des causes possibles de l'évènement fait l'objet du deuxième chapitre.

Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes retenues. Enfin, des recommandations de sécurité sont proposées dans le dernier chapitre.

Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure légale tchadienne (UTC+1).

CRÉDITS

		Page de garde
Figures 1 à 2	Armée de l'air BEA-É	9
Figure 3	GOOGLE EARTH	13
Figures 4 à 5	BEA-É	14
Figure 6	Section incendie base aérienne 172	15
Figures 7 à 9	BEA-É	16 à 17
Figure 10	DGA-EP RESEDA	21
Figure 11	Dassault Aviation	22
Figures 12 à 13	DGA-TA	23 à 24
Figures 14 à 16	Dassault Aviation	28 à 32
Figure 17	Escadron de chasse 02.004 « La Fayette »	37
Figure 18	DGA-EP RESEDA	39
Figure 19	Armée de l'air	50
Figure 20	Dassault Aviation	50
Figure 21	DMAé	51
Figure 22	Dassault Aviation	51

TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT	2
CRÉDITS	2
TABLE DES MATIÈRES	3
GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS	5
1. Renseignements de base	7
1.1. Déroulement du vol	7
1.2. Dommages corporels	8
1.3. Dommages à l'aéronef	9
1.4. Autres dommages	9
1.5. Renseignements sur l'équipage	10
1.6. Renseignements sur l'aéronef	11
1.7. Conditions météorologiques	12
1.8. Aide à la navigation	12
1.9. Télécommunications	12
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	13
1.11. Enregistreurs de bord	13
1.12. Constatations sur l'épave et sur la zone d'impact	14
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	17
1.14. Incendie	18
1.15. Questions relatives à la survie des occupants	18
1.16. Essais et recherches	20
1.17. Renseignements sur les organismes	20
1.18. Intervention sur l'épave	20
2. Analyse	21
2.1. Séquence de l'évènement	21
2.2. Recherche des causes de l'évènement	22
3. Conclusion	41
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement	41
3.2. Causes de l'évènement	41
4. Recommandations de sécurité	43
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement	43
4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement	47
ANNEXES	49
ANNEXE 1 CHECK LIST ET DOCUMENTATION CONSTRUCTEUR	50
ANNEXE 2 EXTRAIT DU PEA MIRAGE 2000 ET DU GCB 108-06	51

GLOSSAIRE

BA	base aérienne
BSS	bande sahélo-saharienne
CAE	centrale anémométrique
CAG	circulation aérienne générale
CEMPN	centre d'expertise médicale du personnel navigant
CFAS	commandement des forces aériennes stratégiques
CFEN	centre de formation des équipages Mirage 2000N
DETAIR	détachement air
FEA	fiche d'évènement aérien
ft	<i>feet</i> – pied (1 ft ≈ 0,30 m)
IFR	<i>instrument flight rules</i> – règles de vol aux instruments
kt	<i>knots</i> – nœuds (1 kt ≈ 1,852 km/h)
NOSA	navigateur officier système d'arme
OCAD	outil connecté d'aide à la décision
OSV	officier sécurité des vols
PEA	plan d'entretien aéronef
PEC	plan d'entretien certifié
PC	post combustion
PCIAT	poste de commandement interarmées de théâtre
POR	prolongement occasionnellement roulant
QFU	désigne l'orientation magnétique de la piste en dizaine de degrés par rapport au nord magnétique en tournant dans le sens horaire
RPL	réservoir pendulaire largable
VH	visite hebdomadaire
VJ	visite journalière
VTB	visualisation tête basse
VTH	visualisation tête haute

SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 28 septembre 2017 à 7h56

Lieu de l'évènement : aéroport international de N'Djamena (indicatif OACI : FTTJ)

Organisme : armée de l'air

Commandement : commandement des forces aériennes stratégiques (CFAS)

Unité : EC 02/004 « Lafayette » – DETAIR « BARKHANE » N'Djamena

Aéronef : Mirage 2000N

Nature du vol : convoyage

Nombre de personnes à bord : 2

Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

Le 28 septembre 2017, dans le cadre du convoyage retour vers la France, une patrouille composée d'un Mirage 2000D en position de leader et de deux Mirage 2000N s'aligne sur la piste devant son avion ravitailleur de type KC 135FR. Le leader décolle pendant que le numéro deux se prépare.

Lors de la course au décollage du deuxième avion, l'équipage est confronté à une évolution lente de la vitesse affichée (VTH¹ et VTB²), le Jx³ étant conforme à l'attendu. L'équipage attend la vitesse de rotation, qui ne vient pas, et perçoit un rapprochement rapide de la fin de piste. Le pilote déclenche une interruption de décollage.

La vitesse réelle, supérieure à celle affichée, rend l'arrêt impossible avant la fin de la piste et l'équipage s'éjecte. L'avion poursuit sa course, heurte et traverse le mur d'enceinte de l'aéroport. La carcasse, en feu, s'immobilise à 460 mètres au-delà du seuil de piste.

L'équipage est blessé ; l'appareil est détruit.

Composition du rapport d'enquête de sécurité

- un directeur d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État⁴ (BEA-É) ;
- un expert technique du BEA-É ;
- un officier pilote ayant une expertise sur Mirage 2000N ;
- un officier mécanicien ayant une expertise sur Mirage 2000 ;
- un médecin breveté de médecine aéronautique ;
- un officier parachutiste d'essai ;
- un sous-officier parachutiste d'essai.

Autres experts consultés

- Direction générale pour l'armement – techniques aéronautiques (DGA TA) ;
- Direction générale pour l'armement – essais propulseurs (DGA EP) ;
- Dassault Aviation (constructeur) ;
- Météo-France.

¹ VTH : visualisation tête haute.

² VTB : visualisation tête basse.

³ Jx : accélération longitudinale (suivant l'axe de roulis).

⁴ Selon les termes du décret n° 2018-346 du 9 mai 2018, le nom du BEAD-air a été modifié. Le bureau s'appelle désormais Bureau Enquêtes Accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État ou BEA-É.

PAS DE TEXTE

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Type de vol : CAG IFR⁵

Type de mission : convoyage

Dernier point de départ : aéroport international de N'Djamena (indicatif OACI : FTTJ)

Heure de départ : 7h55

Point d'atterrissage prévu : aéroport international de Dakar (indicatif OACI : GOOY)

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Contexte du vol

L'équipage du Mirage 2000N n° 360 est déployé sur la base aérienne 172 (BA 172) « Sergent-chef Adji Kosseï ». Depuis deux mois, le pilote et le navigateur officier système d'arme (NOSA) volent en équipage constitué⁶ au profit de l'opération Barkhane. Leur dernier vol a eu lieu le 20 septembre 2017.

Le 26 septembre 2017 le retour vers la France de trois Mirage 2000 accompagnés par un ravitailleur est prévu. Lors de cette mission de convoyage retour, l'équipage est numéro 2 de la patrouille d'avions de chasse. Le départ est annulé à deux reprises en raison de problèmes techniques d'un des trois Mirage puis du ravitailleur.

1.1.2.2. Préparation du vol

Le 27 septembre 2017, les équipages préparent ensemble la mission de convoyage. Le leader et le pilote commandant de bord (PCB) du KC 135FR récupèrent les NOTAM⁷ et les éléments météorologiques sur la route prévue. Un briefing complet et conforme à l'attendu est réalisé.

1.1.2.3. Description des éléments qui ont conduit à l'évènement

Les trois Mirage puis le KC 135FR mettent en route. Après accord de la tour de contrôle, les Mirage 2000 roulent dans l'ordre et empruntent la bretelle rectiligne avant de pénétrer sur la piste au niveau du seuil 05. Lorsqu'ils entament la remontée de la piste, le KC 135FR roule à son tour et vient s'arrêter au niveau de l'ancien point de manœuvre 05 situé à 90 mètres de la piste

(cf. § 1.10).

Après avoir remonté la piste 05, les Mirage réalisent un demi-tour pour s'aligner en piste 23.

Le leader se positionne sur la demi-bande nord de la piste puis décolle et s'éloigne.

1.1.2.4. Reconstitution de la partie significative de la trajectoire

Le pilote du Mirage 2000N n° 360 s'aligne à son tour, comme son leader, sur la demi-bande nord de la piste. Il avance sa manette des gaz en position « plein gaz sec », vérifie son avion et lâche les freins 25 secondes après le leader.

⁵ CAG IFR : circulation aérienne générale *instrument flight rules*.

⁶ Équipage constitué : personnels volant systématiquement ensemble depuis leur préparation au détachement et jusqu'au jour de l'évènement.

⁷ NOTAM : *notice to airmen* – messages aux navigants aériens.

Il positionne alors sa manette en secteur postcombustion⁸ (PC). Après trois secondes d'accélération, le pilote constate l'allumage du voyant vert « PC ». Le NOSA annonce un débit carburant en augmentation vers 350 kg/min. Le pilote regarde la VTH et lit un Jx supérieur à 0,46 pour une valeur attendue de 0,44.

La vitesse affichée est alors proche de 50 kt. Le navigateur attend que la vitesse augmente vers 80 kt pour l'annoncer, moment précis auquel le pilote doit vérifier le niveau de l'accélération. Le Jx est alors supérieur au Jx minimum calculé. Le pilote a la sensation que cette phase est un peu longue mais il est rassuré par le niveau élevé du Jx. L'accélération est continue ; l'avion arrive sur une partie un peu bosselée de la piste. Le pilote soulage alors légèrement l'amortisseur de la roulette de nez par une action à cabrer sur la gouverne de profondeur.

Le pilote sent l'avion réagir nerveusement à sa sollicitation, il repousse le manche en avant pour éviter de décoller « prématurément ». Il vérifie à nouveau le Jx qui est toujours supérieur au minimum calculé.

Au moment où le pilote commence à prendre conscience qu'il a roulé longtemps, il lit sur la VTH une vitesse de 106 kt. Il annonce une première fois « on interrompt ? », attend un instant puis initie la procédure d'interruption de décollage à 915 mètres de la fin de la piste. Le parachute frein commence à sortir à 440 mètres de la fin de la piste. Le pilote perçoit que la vitesse est importante et demande à son NOSA s'il est prêt à s'éjecter. Le NOSA acquiesce, annonce « éjection, éjection ! » et tire la poignée d'éjection.

Le siège arrière part en premier puis le siège avant une demi-seconde plus tard. L'avion continue sa course, heurte le mur d'enceinte de l'aéroport et le traverse. L'appareil prend feu puis s'immobilise à 460 mètres du seuil de piste après avoir réalisé un demi-tour sur lui-même.

1.1.3. Localisation

- Lieu :
 - pays : Tchad
 - commune : N'Djamena
 - coordonnées géographiques : N12°07'29"/E 015°01'28"
 - altitude du lieu de l'évènement : 293 mètres
- Moment : jour

1.2. Dommages corporels

Blessures	Pilote	NOSA
Mortelles		
Graves		X
Légères	X	
Aucune		

⁸ Secteur postcombustion : position de la manette permettant d'obtenir 135% de la pleine poussée.

1.3. Dommages à l'aéronef

L'appareil est détruit.

1.4. Autres dommages

80 mètres après le POR⁹, on observe des traces de début d'incendie.



Figure 1 : trace au sol laissée par l'avion

Le mur d'enceinte situé à 256 mètres du POR a été détruit sur une largeur de 13 mètres.



Figure 2 : brèche dans le mur d'enceinte vue de l'extérieur de l'aéroport

⁹ POR : prolongement occasionnellement roulant.

1.5. Renseignements sur l'équipage

1.5.1. Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1. Pilote commandant de bord

- Âge : 30 ans
- Unité d'affectation : escadron de chasse 02.004 « La Fayette »
- Formation :
 - qualification : sous-chef de patrouille (2017)
 - école de spécialisation : école de l'aviation de chasse 00.314 de Tours
 - année de sortie d'école : 2012
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Mirage 2000N	sur tout type	dont Mirage 2000N	sur tout type	dont Mirage 2000N
Total (h)	937	572	137	137	16	16
Dont nuit	104	86	32	32	8	8

- Date du dernier vol comme pilote sur Mirage 2000N : 20 septembre 2017
- Carte de circulation aérienne :
 - type : carte verte
 - date d'expiration : 12 janvier 2018

1.5.1.2. Navigateur officier système d'arme

- Âge : 34 ans
- Unité d'affectation : escadron de chasse 02.004 « La Fayette »
- Formation :
 - qualification : navigateur combat opérationnel (2015)
 - école de spécialisation : école de l'aviation de chasse 00.314 de Tours
 - année de sortie d'école : 2013
- Heures de vol comme navigateur officier système d'arme :
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Mirage 2000N	sur tout type	dont Mirage 2000N	sur tout type	dont Mirage 2000N
Total (h)	693	627	124	124	16	16
Dont nuit	108	108	28	28	8	8

- Date du dernier vol comme NOSA sur Mirage 2000N : 20 septembre 2017

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de l'air
- Commandement organique d'appartenance : CFAS
- Base aérienne de stationnement : BA 172
- Unité d'affectation : escadron de chasse 02.004 « La Fayette »
- Type d'aéronef : Mirage 2000N – K3
 - configuration : deux réservoirs pendulaires largables (RPL) de 2 000 litres
 - armement : lance paillettes interne
- Caractéristiques :

	Type-série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis
Cellule	M 2000N	360	5 755	VG ¹⁰ : 171
moteur	M53-P2	60554	3 219	131

1.6.1. Maintenance

En dehors des grands entretiens, la maintenance en unité élémentaire s'appuie sur la réalisation de six types de visite :

- la visite journalière (VJ) ;
- la visite avant vol ;
- la visite après vol ;
- la visite hebdomadaire (VH) ;
- la visite de graissage ;
- la visite intermédiaire.

La visite de graissage et la visite intermédiaire sont rarement réalisées sur les théâtres d'opérations extérieures.

Les VJ et VH sont effectuées sous la responsabilité du chef de piste.

Il existe deux sortes de VH : la VH1 et la VH2, effectuées alternativement chaque semaine. La VH2 comporte notamment une inspection minutieuse de la sonde de pression totale afin de déceler son éventuelle obstruction. La VH1 ne comprend pas cette vérification.

L'examen de la documentation technique révèle que les opérations de maintenance sur le Mirage 2000N n° 360 ont été réalisées selon le calendrier ci-dessous :

- le 05 septembre 2017 : VJ + VH2 ;
- le 12 septembre 2017 : suite à une panne alternateur, désarmement de l'aéronef pour procéder au dépannage ;
- le 13 septembre 2017 : dépose du siège éjectable arrière au profit d'un autre avion du détachement ;
- le 18 septembre 2017 : repose du siège éjectable arrière suite ravitaillement logistique ;
- le 20 septembre 2017 : nouvelle dépose du siège éjectable arrière au profit d'un autre avion du détachement ;
- le 25 septembre 2017 : repose du siège éjectable arrière suite à un ravitaillement logistique ;
- le 25 septembre 2017 : panne PA¹¹ lors d'un point fixe puis réparation PA ;

¹⁰ VG : visite générale.

¹¹ PA : pilote automatique.

- le 26 septembre 2017 : VJ +VH1 ;
- le 28 septembre 2017 : VJ.

1.6.2. Performances

L'appareil ne fait l'objet d'aucune restriction d'emploi et les performances sont dans les normes. Compte tenu de la masse de l'avion et des conditions météorologiques du jour, le Jx calculé s'élève à 0,44 (Jx minimal de 0,40). La vitesse de rotation est de 145 kt.

1.6.3. Masse et centrage

Avec ses deux RPL de 2 000 litres le Mirage 2000N pèse 14,7 t à la mise en route et environ 14,3 t au lâcher des freins. Le centrage est dans les normes.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F-34
- Quantité de carburant: 6,2 t à la mise en route et 5,8 t estimé au lâcher des freins

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

Aucune nébulosité sur le terrain, un vent variable de 4 kt et une visibilité moyenne de 8 000 mètres.

1.7.2. Observations

Aucune nébulosité, visibilité supérieure à 10 kilomètres, un vent du 230° pour 6 kt, une température de +30°C et une pression atmosphérique du terrain ramenée au niveau de la mer (QNH) de 1 011 hPa.

1.8. Aide à la navigation

Sans objet.

1.9. Télécommunications

Au moment de l'évènement, l'équipage est en liaison radiophonique avec la tour de contrôle sur le poste principal et avec les trois autres avions sur le poste secondaire sur une fréquence particulière¹².

¹² Fréquence particulière : fréquence connue et utilisée par les seuls avions d'une patrouille, destinée aux ordres de coordination interne.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

L'aéroport international de N'Djamena se situe au nord du fleuve Chari à une altitude de 295 mètres, soit 967 ft. Il possède une piste de 2 800 mètres de long et de 45 mètres de large, orientée au 225° en QFU¹³ 23 et 045° en QFU 05.

Le jour de l'évènement, la patrouille décolle en piste 23, sens qui présente une TORA¹⁴ de 2 800 mètres et une ASDA¹⁵ de 2 846 mètres grâce à un POR de 46 mètres.



Figure 3 : piste de N'Djamena

1.11. Enregistreurs de bord

L'appareil est équipé d'un enregistreur de données d'accident à mémoires statiques de marque Zodiac. Les données qu'il renferme ont pu être exploitées.

La VTH ainsi que les conversations et signaux sonores sont enregistrés sur une carte électronique au format PCMCIA¹⁶. Son état a rendu son exploitation impossible.

¹³ QFU : désigne l'orientation de la piste par rapport au nord magnétique en dizaines de degrés en tournant dans le sens horaire.

¹⁴ TORA : *take off runway available* – distance de roulement utilisable au décollage.

¹⁵ ASDA : *accelerate-stop distance available* – distance utilisable pour l'accélération-arrêt.

¹⁶ PCMCIA : *personal computer memory card international association* - format de carte d'extension ultra-plat, destiné aux ordinateurs portables et à d'autres périphériques.

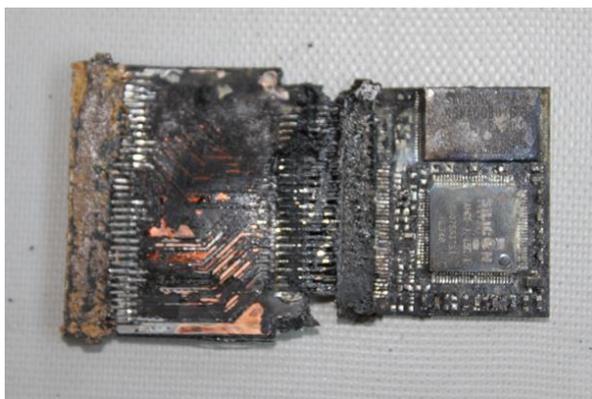


Figure 4 : état de la carte PCMCIA retrouvée

1.12. Constatations sur l'épave et sur la zone d'impact

1.12.1. Examen de la zone

Sur la piste on observe des traces continues de freinage débutant à 901 mètres avant la sortie de piste.



Figure 5 : trace de freinage du train principal droit

Dans le prolongement du bitume, sur l'herbe, on observe des traces de roulement sur 80 mètres. Par la suite, le sol est raclé et des traces d'incendie de faible importance sont visibles le long de la trajectoire rectiligne de l'avion. Après le mur et sur 177 mètres, les traces d'incendie sont de plus en plus importantes. La trace du passage de l'appareil est visible sur le sol.



Figure 6 : traces laissées par l'avion après le mur, jusqu'à l'épave

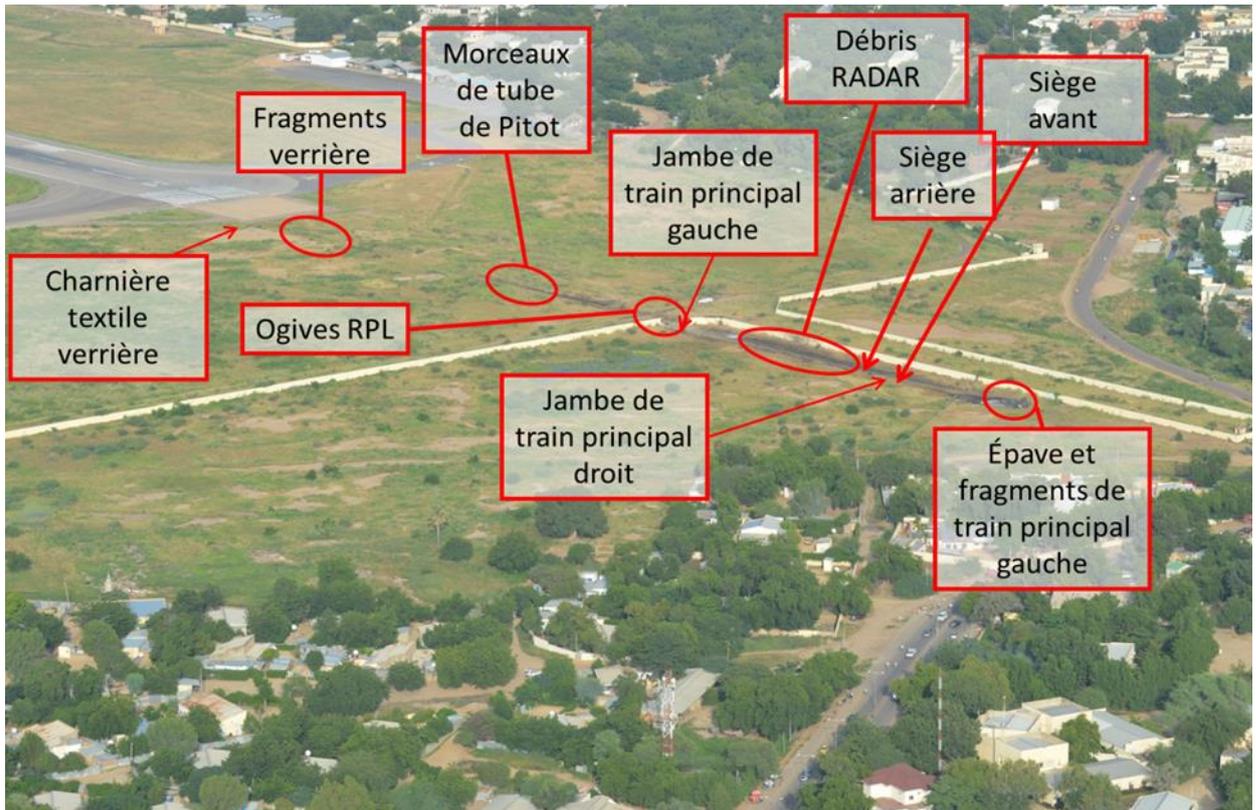


Figure 7 : répartition des débris le long de la trajectoire hors-piste

1.12.2. Examen de l'aéronef

La partie avant est très fortement endommagée jusqu'à la cloison de séparation entre les deux postes de pilotage. Le train avant est replié sous la cellule, de nombreuses traces de brûlure sont visibles sur la cellule et les ailes.

La cellule est orientée au 050°.



Figure 8 : vue de trois quart avant droit



Figure 9 : vue de trois quart arrière droit

En fin de trajectoire, l'avion est passé au travers d'un grillage surmonté de concertina. En s'accrochant dans les fils de fer la cellule a effectué un demi-tour et s'est arrêtée.

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Pilote commandant de bord

- Dernier examen médical¹⁷:
 - type : visite semestrielle à l'unité (référence : CEMPN¹⁸ du 28 février 2017)
 - date : 27 juillet 2017
 - résultat : apte
 - validité : 6 mois
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : légères

1.13.2. NOSA

- Dernier examen médical :
 - type : visite systématique en unité (référence : CEMPN du 19 décembre 2016)
 - date : 30 juin 2017
 - résultat : apte
 - validité : 6 mois
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : graves

¹⁷ Selon instruction n° 4000/DEF/DRH-AA/SDEPRH-HP/BPECA du 20 avril 2017.

¹⁸ CEMPN : centre d'expertise médicale du personnel navigant.

1.14. Incendie

Quatre-vingt mètres après la piste le train avant de l'avion se dérobe et des fuites de carburant apparaissent. Au contact des freins brûlants, le feu se déclenche dans les herbes sèches. Plus loin, en traversant le mur, les deux réservoirs largables se disloquent, libérant près de 4 000 litres de carburant qui s'enflamment immédiatement. L'avion continue sur son inertie jusqu'au grillage et s'arrête totalement enflammé.

Les pompiers prépositionnés sur la bretelle EUFOR (cf. figure 3 – page 13) observent la scène et interviennent immédiatement. Les deux véhicules d'intervention se portent sur les lieux de l'accident en moins de trois minutes. Ils sont rejoints par deux véhicules de lutte contre les incendies d'aéronefs de l'aéroport civil. Les quatre camions parviennent à maîtriser rapidement l'incendie.

1.15. Questions relatives à la survie des occupants

1.15.1. Abandon de bord

Pour les deux membres d'équipage, l'éjection est réalisée dans le domaine d'utilisation du siège. Chacun a tiré sa poignée d'éjection. Néanmoins c'est le NOSA qui déclenche la séquence. La hauteur maximale atteinte par l'ensemble siège PN est estimée à 180 ft au-dessus de l'avion. La descente sous voile dure entre 8 et 9 secondes.

1.15.1.1. Pilote

Lors du départ du siège, le dos du pilote est insuffisamment plaqué contre le dossier car il exerce une action à freiner énergique. Il part de l'avion une demi-seconde après le NOSA. La séquence s'est déroulée normalement. Après sa descente sous voile, le pilote atterrit face en avant ; son masque le protège mais le choc important lui inflige une blessure au visage. Les autres contusions sont liées aux rappels de harnais et de jambes.

- Éjection au sol :
 - type de siège éjectable : Martin Baker MK10Q
- Données morphologiques :
 - taille : 1,80 m
 - poids : 98 kilogrammes équipé
- Éléments au moment de l'éjection :
 - hauteur : au sol
 - vitesse sol : 165 kt
- Conséquences :
 - casque : grenailage de l'écran incolore et de la partie supérieure de la calotte, lié à la fragilisation verrière. Manipulation de l'écran teinté difficile ;
 - masque : calotte intérieure déchirée ;
 - tablette OCAD¹⁹ : positionnée sur la cuisse gauche, et n'ayant pas subi de dégradation ni causé de traumatisme ;
 - canot : poche à eau et boudin brûlés en trois endroits par le feu au sol ;
 - siège et boîtier de tête, parachute : fonctionnement nominal.

¹⁹ OCAD : outil connecté d'aide à la décision.

1.15.1.2. NOSA

La position de départ du NOSA est idéale. La séquence s'est déroulée normalement. Le NOSA atterrit sur un trou, ce qui le déséquilibre à l'atterrissage et le blesse. Les autres contusions sont liées aux rappels de harnais et de jambes.

- Éjection au sol :
 - Type de siège éjectable : Martin Baker MK10Q
- Données morphologiques :
 - taille : 1,70 m
 - poids : 83 kilogrammes équipé
- Éléments au moment de l'éjection :
 - hauteur : au sol
 - vitesse sol : 172 kt
- Conséquences :
 - casque : exempt de trace ;
 - combinaison de vol : découpée par les secours ;
 - tablette OCAD : hors service, posée sur la casquette à gauche lors du décollage, et restée dans l'avion lors de l'éjection ;
 - pantalon anti-G : poches tibiales décousues ;
 - canot : gaine de la bouteille de gonflage décollée ;
 - siège, boîtier de tête et parachute : ces éléments ont fonctionné parfaitement, mais on constate d'une part l'absence de carré jaune de détrompage sur les sangles inguinales, et d'autre part la présence sur le parachute de drisses de commandes non modifiées.

1.15.2. Aspect survie

1.15.2.1. Pilote

Une fois au sol le pilote constate qu'il peut se déplacer. Il s'éloigne de l'incendie naissant et recherche son navigateur. Il est rapidement rejoint par les secours.

1.15.2.2. NOSA

Une fois au sol le NOSA ressent une vive douleur dans sa cheville droite. Il est dissimulé par des taillis. Il tente d'appeler les secours sans succès. Pour éviter de provoquer un incendie de la végétation, il utilise, sans succès, son fumigène côté jour. Il utilise alors le côté nuit et le lance à l'écart craignant de mettre le feu aux hautes herbes sèches qui le masquent. Puis il utilise son sifflet, ce qui lui permet finalement d'être repéré par les secours et d'être évacué.

1.15.3. Organisation des secours

L'alerte est déclenchée par le contrôleur en poste à la tour de contrôle en actionnant le klaxon de crash.

Les secours médicaux arrivent sur les lieux de l'accident neuf minutes après l'alerte, à bord de deux ambulances.

Le NOSA est localisé. Les secours apportent les premiers soins à l'équipage et le transfèrent au pôle de santé unique militaire de N'Djamena.

1.16. Essais et recherches

- L'expertise des perchettes anémométriques a été confiée à DGA TA.
- L'expertise du boîtier du rack 3²⁰ et de la centrale anémométrique (CAE)²¹ a été confiée à DGA TA.
- L'exploitation de l'enregistreur a été confiée à RESEDA.

1.17. Renseignements sur les organismes

Dans le cadre de l'opération Barkhane, un détachement air (DETAIR) est positionné sur la BA 172 « Sergent-chef Adji Kosseï » de N'Djamena. Le détachement chasse reçoit ses ordres du JFAC²² France situé à Lyon-Mont Verdun.

L'échelon technique est placé sous le commandement du détachement chasse. Le personnel technique assure la maintenance des Mirage 2000N et des Mirage 2000D au sein du DETAIR.

1.18. Intervention sur l'épave

Dans les premiers temps de l'opération, aucun sas d'entrée/sortie n'est matérialisé. Les différents intervenants entrent et sortent de la zone d'accident par l'endroit qu'ils souhaitent. Ils ne disposent pas d'équipements de protection individuels (EPI).

Le 1^{er} octobre 2017, la section d'intervention de l'escadron de sécurité incendie et sauvetage (ESIS) de la BA 120 de Cazaux²³ débute les opérations de sécurisation de l'aéronef par le balisage de la zone et la réalisation d'un sas.

La mise en place d'un sas permet de limiter le risque de dispersion et de transfert de contamination liée à la présence potentielle de composants à risque sur l'épave.

²⁰ Rack 3 : boîtier électronique intervenant au niveau des commandes de vol électriques.

²¹ CAE : boîtier électronique assurant le traitement des données aérodynamiques.

²² JFAC : *joint force air component* - structure de commandement et de conduite air.

²³ Une des missions de la section d'intervention est la gestion de crise « post crash » et la mise à disposition de moyens de reconnaissance de site, d'évaluation du risque de contamination et de réalisation de prélèvements.

2. ANALYSE

L'analyse qui suit se compose de deux parties. La première détaille la séquence de l'évènement. La deuxième cherche à identifier les causes de l'accident.

2.1. Séquence de l'évènement

La séquence de l'évènement est reconstituée à partir de l'analyse de l'enregistreur, des vidéos prises par les témoins ainsi que du témoignage de l'équipage. L'état de la carte PCMCIA, qui enregistre la VTH ainsi que le dialogue de l'équipage, n'a pas permis son exploitation.



Figure 10 : séquence finale de l'évènement

T+0 s :	Lâcher des freins.
T+0,5 s :	Mise Pleine Charge PC.
T+5 s :	Annonce « Voyant FAN allumé » (Pilote).
T+6 s :	Annonce « Débitmètre Lu » (NOSA).
T+11 s :	Annonce « Jx Lu » (Pilote) NOTA : cette annonce est faite dans le « tempo » habituel et le Jx est correct.
T+X s :	Annonce « 80kt » (NOSA).
T+Y s :	Annonce « on interrompt ? ».
T+30 s :	Déclenchement de la décision d'interrompre le décollage (Pilote).
T+31 s :	Manette des gaz sur Plein Réduit.
T+31,4 s :	Pédales de frein enfoncées.
T+32 s :	Freinage maximum régulé par le SPAD.
T+33,5 s :	Action sur la commande de parachute frein.
T+35 s :	Parachute frein ouvert.
T+35 s :	Annonce « ça va pas le faire » (Pilote) NOTA : correspond à la prise de décision d'éjection.
T+37 s :	Annonce « tu es prêt ? » (Pilote).
T+38 s :	Réponse du NOSA.
T+38,92 :	Éjection siège arrière.
T+39,38 :	Sortie de piste (POR de 50 mètres après le seuil, soit 250 mètres du mur).
T+39,42 :	Éjection siège avant.
T+42,8 :	Impact sur le mur.

2.2. Recherche des causes de l'évènement

2.2.1. Causes techniques

L'analyse de l'enregistreur de paramètres ainsi que le témoignage de l'équipage indiquent l'absence d'alarme rouge ou ambre avant l'évènement.

Les paramètres moteur ainsi que l'accélération longitudinale (Jx) sont conformes à l'attendu.

Les vitesses rapportées par l'équipage sont celles lues sur la VTH et la VTB.

Celles-ci sont issues de la même source d'information de pression totale T3 via la centrale anémométrique (figure 11). Les témoignages indiquent que la vitesse maximum lue sur les VTH et VTB lors de la course au décollage était de 106 kt.

L'information de vitesse extraite de l'enregistreur de paramètres indique une vitesse maximale de 235 kt, cohérente avec l'accélération de l'aéronef. L'enregistreur de paramètres reçoit une information de pression totale provenant de la sonde T2 (figure 11).

Il existe une troisième source de pression totale qui alimente l'anémomètre arrière (T1).

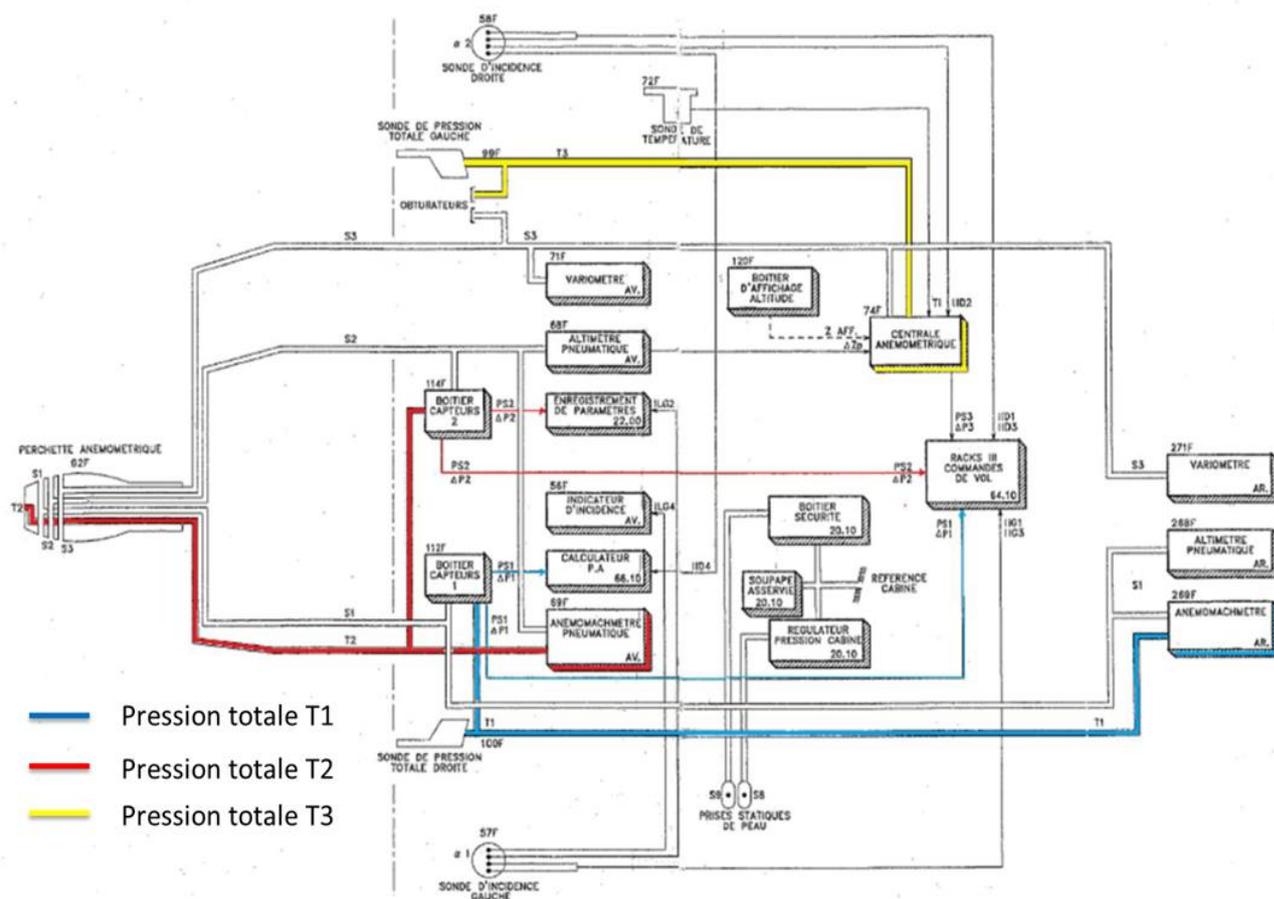


Figure 11 : schéma de principe du circuit anémométrique

L'information de vitesse erronée transmise à la VTH/VTB est le résultat d'informations prises au niveau de la sonde T3 et qui transitent par la centrale anémométrique. Les expertises menées ont donc eu pour objet d'analyser les différents éléments encore disponibles pouvant aider à déterminer l'origine de l'incohérence de l'information. L'analyse des sondes retrouvées sur l'épave, compte tenu de leur état, n'a pas été concluante.

L'expertise s'est donc concentrée sur la CAE (elle élabore la vitesse en utilisant l'information de la sonde T3 et l'information de pression statique S3) ainsi que sur le rack 3 des commandes de vol électriques. Le rack 3 assure en permanence la comparaison des trois sources de vitesse et émet un code panne en cas d'incohérence, exploitable seulement au sol à l'issue du vol.

2.2.1.1. Analyse de la CAE

La CAE élabore l'information de vitesse en comparant la pression statique (S3) à la pression totale (T3) puis transmet l'information sous forme numérique aux autres équipements de l'aéronef. Cette information est utilisée par les boîtiers générateurs de symbole (BGS) numéro 1 et 2 qui élaborent l'affichage de la vitesse pour la VTH (BGS 1) et la VTB (BGS 2).

Les essais au banc et sur aéronef de la CAE accidentée, réalisés par DGA TA, ont démontré une défaillance du capteur de pression totale Pt.



Figure 12 : CAE de l'avion accidenté



Figure 13 : capteur Pt de l'avion accidenté

L'essai de la CAE au banc ATEC²⁴ et le montage sur un Mirage 2000N à Istres ont d'abord permis de constater un défaut du capteur Pt (surestimation de la vitesse). L'expertise de ce capteur dans les locaux de Thalès Valence confirme la surestimation de vitesse constatée lors des essais à Istres. Or cet écart n'est pas cohérent en signe et en amplitude au défaut annoncé lors de l'accident. Les essais ont en réalité mis hors de cause l'électronique. Le décalage découle de déformations plastiques des éléments mobiles du système, probablement liées à une surpression produite par l'accident lui-même.

Le défaut du capteur lors des essais est donc très probablement dû à l'impact après la sortie de piste de l'aéronef.

2.2.1.2. Analyse du rack 3 des commandes de vol

La méthode d'analyse a consisté à monter l'équipement des commandes de vol électriques rack 3 accidenté sur un Mirage 2000N. Après mise sous tension de l'avion, une lecture des codes panne a été réalisée.

Les codes pannes suivants ont été constatés sur l'équipement rack 3 :

- code 319 : panne delta P3 ou Ps3 ;
- code 339 : panne réchauffage sondes ;
- code 333 : panne incidence droite ;
- code 338 : relai info incidence 2 ;
- code 354 : relai info incidence 1.

²⁴ ATEC : appareillage de test d'équipements complexes.

Ces codes panne ne sont pas datés mais apparaissent dans l'ordre chronologique. Le code 319 correspond à une panne simple delta P3 ou Ps3 qui ne donne pas lieu à une alarme dans le cockpit. Elle correspond aux symptômes décrits par l'équipage qui peuvent se produire dans le cas d'une panne de pression totale 3 concernant la mesure de delta P3. Les autres codes décrivent des pannes qui ont généré des alarmes dans le cockpit et correspondent aux avaries causées à partir de la sortie de piste de l'aéronef.

La sonde T2 qui alimente l'anémomachmètre du pilote fonctionne correctement puisque les informations de l'enregistreur de paramètres sont cohérentes.

Concernant la sonde T1 :

- Si les informations fournies par la sonde T1 à la CAE sont erronées et donnent une information suffisamment différente des sondes T3 et T2, alors une double panne est mémorisée dans les codes de panne du rack 3. Cette panne est également annoncée à l'équipage par une alarme dans le cockpit (panne GAIN).
- Si les informations fournies par la T1 sont similaires à celles de la T3, la sonde T2 est alors déclarée en panne avec un code 318.

Le rack 3 ne présentant aucune de ces pannes, les informations transmises par la sonde T1 sont donc correctes.

Les informations de vitesse transmises aux anémomachmètres avant et arrière sont justes et cohérentes.

Synthèse des expertises techniques :

L'incohérence de l'information de vitesse présentée en VTH et VTB résulte de l'obstruction du circuit de la sonde T3.

Dans ce cas précis (une seule source d'information de pression totale erronée), malgré l'incohérence de l'information de vitesse présentée en VTH et VTB, l'aéronef peut voler sans restriction (pas de conséquence sur le fonctionnement des commandes de vol électriques (CDVE) notamment). L'équipage doit alors utiliser les informations de vitesse des anémomachmètres. Au-delà de deux sources d'informations de pression incohérentes, le fonctionnement des commandes de vol est affecté et le pilotage de l'aéronef est alors altéré voire impossible dans certains cas extrêmes (événement A-2004-001-A).

Lors de l'évènement, si l'équipage avait pris conscience de la vitesse réelle indiquée par l'anémomachmètre, au-delà de la vitesse de décision, la décision la plus adaptée dans ce cas précis aurait été de décoller.

2.2.2. Causes liées aux facteurs organisationnels et humains

2.2.2.1. Maintenance

Interprétation du plan d'entretien aéronef (PEA)

Les VH regroupent un ensemble de contrôles à effectuer, dont la maintenance des sondes totales qui permet de s'assurer de la non obturation des sondes anémométriques. En pratique, il existe deux types de VH : les VH1 et VH2. Les VH2 sont des visites plus complètes qui reprennent l'ensemble des tâches réalisées lors de la VH1 auxquelles s'ajoutent quelques tâches supplémentaires à réaliser une fois toutes les deux semaines, notamment la maintenance des sondes totales.

Selon le PEA approuvé par la DSAÉ pour le Mirage 2000 (cf. annexe 2), les VH doivent être réalisées toutes les semaines lorsque l'avion est considéré comme entreposé non stocké. Dans le cas d'un avion entreposé non stocké rendu indisponible pour des raisons logistiques ou techniques, si le commandement décide un stockage de courte ou longue durée, alors les VH sont suspendues le temps du stockage. Cependant, lorsqu'un avion est entreposé, qu'il soit stocké ou non, les VJ ne sont plus à effectuer.

L'avion en maintenance pour plusieurs semaines est considéré comme indisponible mais il n'est pas considéré comme un avion stocké par les responsables techniques de l'escadron de chasse 02.004 « La Fayette ». Indisponible, l'avion n'est plus opérationnel le temps de la maintenance. Or, les visites hebdomadaires comme les visites journalières sont des visites de mise en œuvre.

L'exécution d'une VH alors que l'avion est non opérationnel n'est pas jugée nécessaire et n'est donc pas réalisée. Cette pratique est généralisée à l'ensemble des services techniques de Mirage 2000. Elle résulte d'une interprétation du PEA.

Selon Dassault Aviation, l'aéronef doit pourtant être considéré comme étant entreposé non stocké et donc faire l'objet de VH. Le plan d'entretien certifié (PEC), qui sert de référence au PEA, est rédigé par le constructeur. Comme le PEA, il indique qu'un aéronef entreposé non stocké est un aéronef disponible. L'ambiguïté demeure sur le mot disponible puisque le GCB 108-06 (documentation constructeur) explique qu'un aéronef entreposé non stocké « est susceptible d'être rendu opérationnel dans des délais très courts, après des opérations limitées de repose d'équipements[...]. L'aéronef entreposé non stocké est maintenu à l'état disponible. »

En l'absence du maintien des VH durant une maintenance rendant l'avion indisponible, elles sont reportées à l'issue. Si cette suspension des VH est généralisée à l'ensemble des services techniques de Mirage 2000, en revanche la gestion des VH à effectuer avant la remise en service de l'avion diffère.

À l'exception de l'escadron de chasse 02.004 « La Fayette », les autres services techniques Mirage 2000 réalisent une VH2 en fin de maintenance de plus d'une semaine. En effet, même si l'avion ne vole pas, le risque d'obturation des sondes reste présent. Les caches permettant d'assurer la protection des sondes ne sont pas continuellement en place sur l'aéronef. En fonction des tâches à réaliser, ils peuvent être enlevés et ne sont remis obligatoirement qu'en fin de journée.

Au sein de l'escadron de chasse 02.004 « La Fayette » dans le cas où la maintenance dure plus de 30 jours, il est systématiquement effectué une VH2 après la maintenance. Si la maintenance dure moins de 30 jours, alors la dernière VH programmée est réalisée avant la remise en service.

Une interprétation inadaptée du PEC et du PEA conduit à la suspension des VH pendant les périodes de maintenance supérieures à sept jours.

Logiciel de suivi de la maintenance : ATAMS

Le logiciel ATAMS permet d'automatiser la programmation de la maintenance des aéronefs (sauf panne). Pour chaque aéronef et avant toute remise en vol, un contrôle sur ce logiciel permet au chef de piste de s'assurer que toutes les opérations de maintenance qui devaient être réalisées ont bien été prises en compte.

Bien qu'il existe deux types de VH, le logiciel ne les différencie pas. Chaque semaine il est donc prévu qu'une VH soit réalisée, sans que soit spécifié laquelle. Ce sont les chefs de piste qui indiquent manuellement dans le logiciel le type de VH à réaliser.

Le logiciel permet l'interprétation du PEA sur la VH à réaliser après une période d'indisponibilité de l'aéronef. Cette interprétation n'est pas contrôlée.

Le logiciel ATAMS n'est pas programmé pour différencier et suivre automatiquement les VH1 et VH2. Les spécificités VH1 et VH2 sont entrées manuellement dans le logiciel.

Non-détection du risque

Après trois semaines d'indisponibilité pour le traitement d'une panne, l'avion est remis en service pour la mission de convoyage.

L'analyse de la documentation de l'aéronef montre que durant les trois semaines de maintenance, aucune visite hebdomadaire (VH) n'a été effectuée.

Avant l'entrée en maintenance de l'aéronef, une VH2 a été réalisée le 5 septembre 2017.

La prochaine VH programmée est alors une VH1. Avant la remise en service de l'aéronef, une VH1 a ainsi été réalisée le 26 septembre 2017 (date initialement prévue pour le vol de convoyage). Le jour de l'évènement, les sondes anémométriques n'ont pas été inspectées depuis 23 jours. Seul un contrôle visuel d'avant vol a été effectué sur les entrées des sondes lors de la VJ.

Lors de la visite journalière du mardi 26 septembre 2017, le mécanicien constate la présence significative d'araignées et d'insectes sur l'avion. Leur nombre est jugé inhabituel en comparaison aux deux mois précédents. Lors du contrôle visuel des sondes il constate qu'une sonde de température d'impact est obstruée et la fait déboucher. Le contrôle visuel des autres sondes ne montre aucune obturation.

Alors que l'avion n'a pas bénéficié d'une VH2 depuis 23 jours, la présence d'araignées, d'insectes et d'une sonde de température obstruée auraient pu alerter le chef de ligne ou les mécaniciens sur le risque de présence d'intrus ou de poussières dans les autres sondes. La réalisation d'une VH2 aurait permis de réduire le risque du dysfonctionnement subi lors de la course au décollage. Alors qu'un simple contrôle visuel des sondes s'effectue en observant l'intérieur de celles-ci depuis l'extérieur, le contrôle effectué lors d'une VH2 amène l'opérateur à introduire une source de lumière à l'intérieur des sondes jusqu'à l'entrée de la chicane présente dans celles-ci. La présence de lumière à la sortie des deux drains présents dans la chicane doit alors être constatée.

Toutefois, si la VH2 permet d'augmenter la probabilité de détecter la présence de corps étrangers susceptibles d'obstruer le circuit, elle n'élimine pas totalement le risque. En effet l'inspection des sondes effectuée lors de cette maintenance se limite à la chicane de la sonde (repère A de la figure 14).

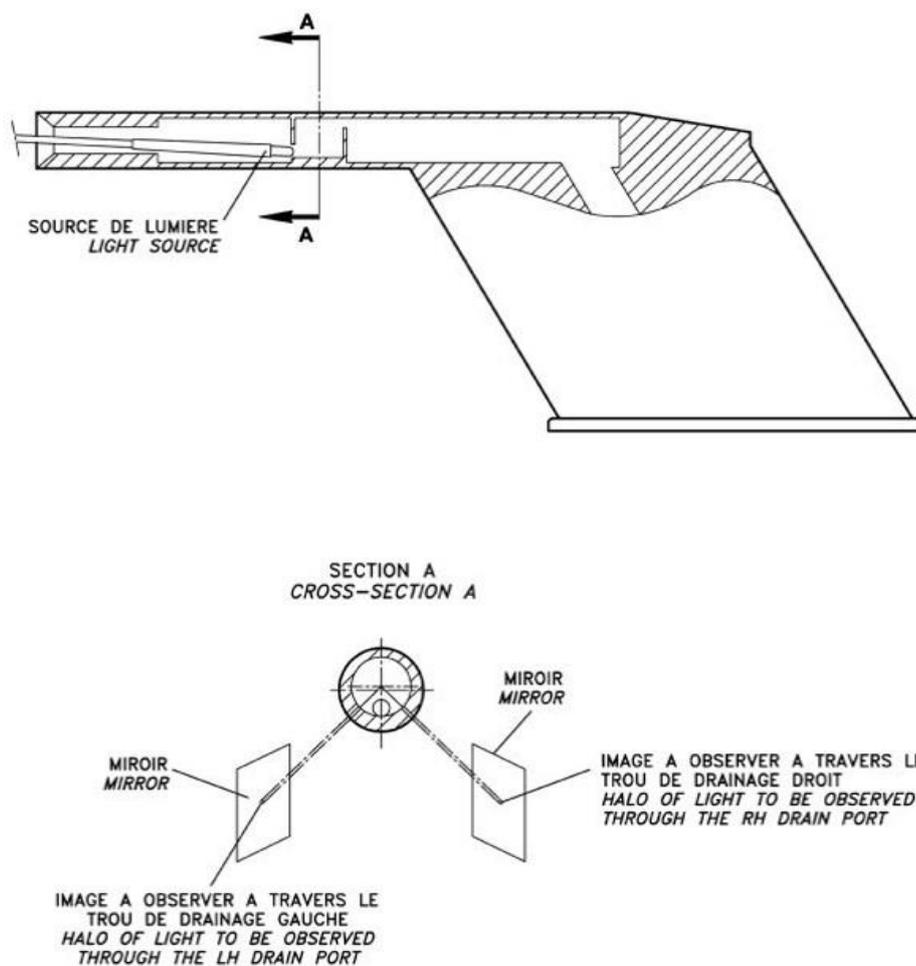


Figure 14 : inspection de la sonde effectuée en VH2

Conscient des risques liés à la remise en vol d'un aéronef immobilisé en maintenance sur une longue période, un des officiers sécurité des vols (OSV) Mirage 2000N a demandé au commandant d'escadrille de planifier un vol local afin de contrôler son bon fonctionnement. Les contraintes locales de planifications (préavis de 24 heures pour que les Tchadiens acceptent un vol) n'ont pas permis d'effectuer ce vol. À défaut, une mise en route a été effectuée et a permis de déceler un problème de batterie ainsi qu'une panne du pilote automatique. Lors de cette mise en route l'OSV a particulièrement noté l'état général de l'appareil (sale) et a demandé à ce qu'il soit nettoyé.

Le risque de présence de particules dans les sondes anémométriques après 23 jours sans contrôle des circuits anémométriques, dans un environnement propice à la présence de corps étrangers dans les sondes, a amené une vigilance particulière lors des contrôles visuels des sondes sans toutefois susciter d'action supplémentaire (contrôle type VH2...). La documentation ne prévoit pas d'opération préventive spécifique lorsque des conditions particulières sont rencontrées.

2.2.2.2. Cockpit

L'équipage est composé d'un pilote et d'un NOSA, qui volent en équipage constitué depuis leur préparation au détachement. Ils ont par ailleurs volé ensemble lors de la préparation au passage à la qualification de sous-chef de patrouille du pilote au printemps 2017. C'est un équipage encore peu expérimenté.

La constitution des équipages a été motivée par la prise en compte des affinités, afin de faciliter une bonne synergie et par l'idée de responsabiliser ce jeune équipage, en invitant chacun à tenir pleinement sa place sans la présence d'un ancien.

Le pilote va prochainement être qualifié sous-chef de patrouille (dossier en attente de signature). Il est affecté à Istres depuis septembre 2013. C'est sa première opération extérieure. Encore peu expérimenté, il totalise 937 heures de vol sur tout type d'aéronef et seulement 572 heures de vol sur Mirage 2000N.

Le NOSA est qualifié navigateur de combat opérationnel. Également affecté à Istres depuis 2013, il s'agit aussi de sa première opération extérieure. Encore peu expérimenté, il totalise 693 heures de vol sur tout type d'aéronef et seulement 677 heures sur Mirage 2000N.

Les deux membres d'équipage témoignent de leur manque d'expérience :

- le pilote met en avant son manque d'expérience dans ce qu'il appelle le « sens de l'air » ;
- le NOSA met en avant ses difficultés de progression.

Cette situation génère une absence de *leadership* franc.

Les témoignages indiquent des incertitudes chez le pilote qui emploie plus la forme interrogative qu'affirmative. Par ailleurs, le pilote et le NOSA ont respectivement un sentiment de situation anormale, sans l'exprimer.

L'équipage est peu expérimenté et marqué par une absence de *leadership* franc. Ce type de cockpit engendre une faible synergie qui entrave la compréhension de la situation.

2.2.2.3. Analyse de la panne par l'équipage

Détection de la panne

Les Mirage 2000 français ne sont pas dotés d'une alarme permettant d'avertir l'équipage d'un écart de vitesse entre deux sources différentes d'information de vitesse. La détection ne peut être réalisée que par le contrôle de deux sources d'information de vitesse différentes. La vitesse se lit sur deux instruments distincts dans le cockpit du Mirage 2000N, l'anémomachmètre et la VTH/VTB. La source d'information est différente pour les deux systèmes, ce qui permet de détecter des écarts en cas de panne de l'un des systèmes. Il n'existe aucun système d'alarme dans le cockpit permettant d'avertir d'un problème anémométrique sur une seule des sources d'information. C'est seulement à partir de deux sources en panne qu'une alarme rouge GAIN s'allume au-delà de 80 kt.

Lors de l'évènement, l'équipage ne lit la vitesse que sur la VTH/VTB, c'est-à-dire sur des instruments affichant des valeurs de vitesse provenant d'une même source, rendant par là-même impossible la détection d'un écart de vitesse.

Concernant l'indication de vitesse, seule une comparaison des instruments entre eux par l'équipage permet de détecter efficacement une panne. Lors de l'évènement, l'équipage regardait des instruments utilisant la même source d'information. Dès lors, la panne anémométrique était difficilement identifiable.

Lecture de l'anémomètre

Suite à des incidents, dont un en 2013, la check-list a été modifiée afin que d'éventuelles pannes d'anémométrie soient prises en compte dans les cas d'interruption de décollage. Lors de la formation initiale sur simulateur, il est demandé aux pilotes de regarder la vitesse sur la VTH alors que les NOSA doivent la regarder sur l'anémomètre lors de la course au décollage. Cette double vérification sur deux sources distinctes permet de détecter tout écart de vitesse, révélateur de panne.

Les entretiens menés montrent que ce point est particulièrement développé par les instructeurs du centre de formation des équipages de Mirage 2000N (CFEN) qui insistent fortement auprès des NOSA sur la nécessité de regarder l'anémomètre.

Cependant, cette pratique n'est explicitée dans aucune des procédures écrites. Elle est seulement déduite d'un des cas d'interruption de décollage développé dans la check-list : « Désaccord important (>20 kt) entre les Vi VTH et anémomètre ».

La surveillance du paramètre vitesse par le NOSA sur l'anémomètre est enseignée au CFEN mais n'est écrite explicitement dans aucun document.

Le navigateur a perdu l'habitude de contrôler la vitesse à l'anémomètre. Cette migration des pratiques a été induite par une multitude de facteurs :

- l'absence d'une procédure précise ;
- la difficulté de lecture sur cet instrument associée à une très forte pression temporelle lors des décollages ;
- une absence de rappel lors des séances au simulateur dès la sortie du CFEN, la procédure étant considérée comme définitivement acquise ;
- une perte d'automatisme après une longue interruption de vol alors que le NOSA était encore peu expérimenté.

La VTB est un instrument central de taille importante. La vitesse y est indiquée en chiffres de couleur verte. La lecture en est très facile.

Au contraire, l'anémomètre est un petit instrument placé en bas à gauche de la planche du cockpit. C'est un instrument à aiguille en noir et blanc. Entre 50 kt et 100 kt, il y a des tirets toutes les dizaines de kt mais aucun chiffre, et il n'existe aucun code couleur ou repère spécifique à 80 kt pour aider à la lecture de cet instrument lors de la course au décollage.

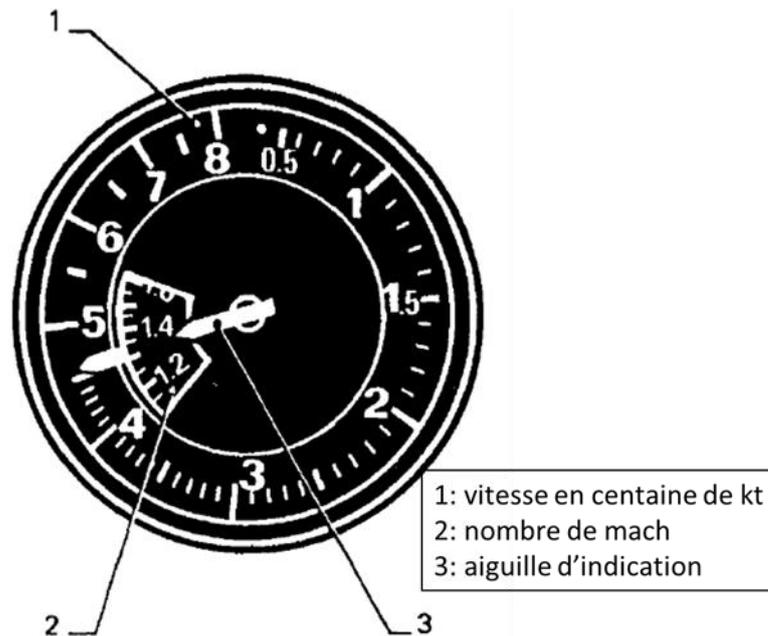


Figure 15 : anémomachmètre

Or, la vitesse de 80 kt est atteinte en moins de dix secondes après le lâcher des freins. Dans ces dix secondes, le NOSA doit, conformément à la procédure du guide d'utilisation opérationnel (GUO), d'abord surveiller le débit carburant et annoncer sa valeur lorsque le voyant FAN s'allume, puis doit porter son attention sur la vitesse.

Certains NOSA, dont celui de l'évènement, utilisent le poste de commande des centrales inertielles pour lire dans cette courte période le Jx (figure 16), bien que cette vérification ne soit pas spécifiée dans les procédures.

La difficulté de lecture de la vitesse sur l'anémomachmètre, alors que le NOSA ne dispose que de quelques secondes pour rechercher l'instrument et surveiller la vitesse, explique la migration des pratiques.

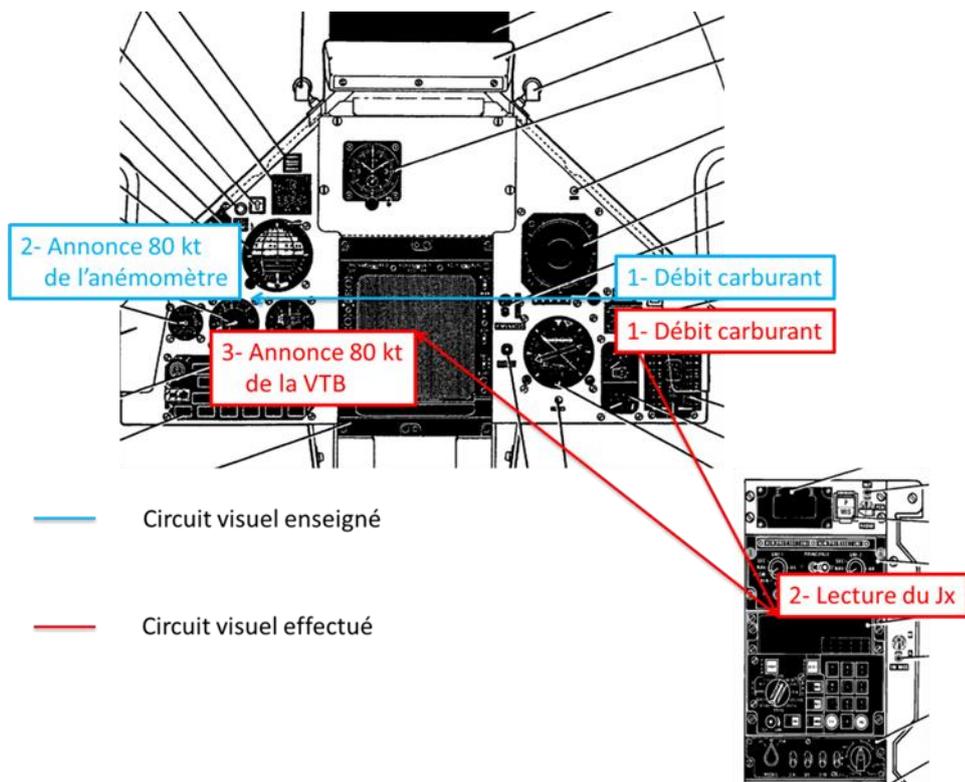


Figure 16 : circuit visuel du NOSA au décollage

De plus, compte tenu de la forte pression temporelle de cette phase et des caractéristiques de l'anémomachmètre qui rendent difficile la lecture de la vitesse, une forte automatisation doit être acquise. Le NOSA a été arrêté de vol pendant neuf mois alors qu'il était peu expérimenté (un an depuis sa qualification de NOSA opérationnel). Il est possible qu'il ait perdu certains de ses automatismes. À sa reprise des vols, ayant perdu ses habitudes sur l'anémomachmètre, il est possible qu'il ait préféré surveiller la vitesse sur la VTB. Lors des séances au simulateur, cette procédure est rapidement considérée comme définitivement acquise et n'est plus rappelée aux NOSA.

Cette situation n'est pas unique. Il semblerait que d'autres NOSA de l'escadron suivent également cette pratique, notamment les navigateurs ayant volé sur Mirage 2000D. Lors d'un évènement similaire ayant eu lieu le 3 août 2017 sur la piste d'Istres, le NOSA avait surveillé, dans un premier temps, la vitesse sur la VTB et non sur l'anémomachmètre.

L'absence d'une procédure précise de comparaison des vitesses indiquées au décollage, une longue interruption de vol, la difficulté de lecture sur l'instrument et la forte pression temporelle ont conduit progressivement à une migration des pratiques.

Excès de confiance dans l'aéronef

La forte accélération de l'avion dans la configuration employée (Jx constaté supérieur au Jx calculé avant vol), conjuguée à une impression de grande fiabilité de l'aéronef, a pu engendrer une posture passive de surveillance de la part de l'équipage. Le pilote et son NOSA ne remettent pas en question les données du système malgré la sensation d'une incohérence. Ils ne cherchent pas à contrôler la valeur de vitesse indiquée par la VTH ou la VTB par un contrôle croisé sur l'anémomachmètre, disponible en place avant et arrière sur cet avion.

La posture de surveillance passive adoptée par l'équipage a conduit à une absence de contrôle du système, qui ne permet pas la compréhension de la situation.

Ressources cognitives disponibles et fatigue

La mission programmée est un transit de 4h30 comportant deux ravitaillements en vol. C'est donc un vol long avec des phases complexes qui nécessitent un équipage en pleine possession de ses capacités.

Si l'équipage ne déclare pas avoir eu de problème de sommeil durant son détachement, il a accumulé une fatigue certaine liée aux deux mois en opération. De plus, les chambres ont été attribuées la veille aux personnels de la relève. L'équipage a donc été contraint de dormir sous tente sur des lits picots. Dans ces conditions (lit sommaire, chaleur, bruit et insectes) le sommeil de l'équipage a été fortement perturbé avec de nombreux réveils durant la nuit.

Avant un vol exigeant, l'équipage peu expérimenté ajoute donc à une fatigue chronique liée à son activité durant les deux mois du détachement une fatigue aiguë liée à un sommeil perturbé durant la nuit précédant le vol.

Les ressources de l'équipage étaient diminuées par cette double fatigue.

La fatigue a contribué à altérer la capacité d'analyse de l'équipage lors de l'évènement.

2.2.2.4. Interruption tardive de décollage

Prise de décision

Bien que n'ayant pas regardé l'anémomachmètre, le NOSA déclare avoir perçu un problème (augmentation lente de la vitesse dans la VTB). De même le pilote a la sensation que la vitesse augmente lentement bien que cette augmentation soit linéaire. La perception de cette anomalie n'amène pas l'équipage à déclencher l'interruption de décollage mais l'entraîne dans une tentative d'analyse de la situation.

Lors de l'évènement, l'équipage, qui a perçu une anomalie durant la course au décollage, a priorisé l'analyse de la situation au lieu de l'interruption de décollage. Ce questionnement a retardé la décision d'interruption de décollage.

Surmotivation

Le vol est une mission de convoyage en vue d'un retour vers la France sur la base aérienne d'Istres. Il s'agit de la première étape vers Dakar (Sénégal). La patrouille est composée d'un Mirage 2000D en position de leader, de deux Mirage 2000N et d'un avion ravitailleur de type KC 135FR.

Après deux mois au sein du détachement, l'équipage achève sa première opération extérieure. Après deux tentatives de départ avortées pour des raisons techniques le 26 septembre 2017, la mission est reportée au 28 septembre 2017. Cette situation a entraîné chez l'équipage une surmotivation pour la réussite du décollage. Dans ces conditions, le raisonnement a été biaisé et a entraîné un retard dans la prise de décision d'interruption de décollage.

Ce type de mission entraîne une motivation forte de la part des équipages. Les départs avortés deux jours auparavant ont entraîné une surmotivation chez l'équipage et ont pu conduire à un biais dans l'analyse et une prise de décision tardive d'interruption de décollage.

Repères

La piste ne possède aucun panneau indiquant la distance restante utile pour les équipages. Ainsi, l'équipage n'a aucun indicateur visuel pour connaître la distance restante avant la fin de la piste.

La décision de décoller en piste 23 est liée à la présence du KC 135FR qui, au vu de son chargement et de la température, doit impérativement décoller face au vent. Durant les deux mois de son détachement, l'équipage a principalement décollé en piste 05. Le pilote n'a donc pas acquis de repère visuel extérieur dans cet axe de décollage. De plus, la piste de N'Djamena comporte des bosses connues de l'équipage. Celles-ci se trouvent dès le début de piste lors du décollage en piste 05, alors que d'autres se situent à 750 mètres après le début de piste en 23. Habitué pendant deux mois à la présence de ces bosses en début de piste, l'équipage ne prend pas conscience de la véritable distance parcourue.

La décision d'interruption intervient lorsqu'enfin le pilote acquiert dans son champ visuel un indice au sol, à savoir les traces de gomme et le peigne marquant la fin de la piste. À cet instant il décide d'interrompre. Il ne reste plus que 915 mètres de piste, la vitesse affichée sur la VTH est de 106 kt alors que la vitesse réelle est en réalité de 235 kt, soit plus de 80 kt au-dessus de la V_r^{25} . La procédure est alors appliquée mais à une vitesse trop élevée et trop tard.

En l'absence d'indice visuel le long de la piste (absence de panneaux et habitude de décoller en sens inverse), l'équipage ne parvient pas à estimer la distance restante, ce qui entraîne une prise de décision tardive d'interruption de décollage²⁶.

Pression temporelle

La course au décollage avec un Mirage 2000N dans la configuration du jour a été reconstituée au simulateur. Le temps entre le lâcher des freins et le décollage a été estimé à 18 secondes.

À 80 kt il reste à l'équipage seulement neuf secondes pour détecter, analyser une panne éventuelle et prendre la décision d'interruption tout en continuant le pilotage de l'avion.

Compte tenu de cette forte pression temporelle, les pannes nécessitant une interruption de décollage font l'objet d'un entraînement particulier. Les procédures à appliquer pour chaque panne doivent être parfaitement mécanisées par les équipages pour que les décisions d'interruption soient prises immédiatement dès la détection de la panne. Pour cela des séances mensuelles au simulateur sont programmées et une à deux interruptions de décollage sont réalisées à chaque fois.

²⁵ V_r : vitesse à laquelle le pilote affiche l'assiette de décollage.

²⁶ Suite à l'évènement, des panneaux de distance restante ont été implantés sur l'aéroport de N'Djamena. Ces panneaux sont disposés à 1 200 mètres de piste restante et sont éclairés la nuit.

Or aucune de ces interruptions de décollage ne ressemble à la situation rencontrée par l'équipage lors de l'évènement. Les limites du simulateur ne permettent pas de reconstituer un écart de vitesse entre les deux instruments durant la course au décollage.

Si les pilotes répètent (sous la forme d'un briefing) à chaque décollage les différents cas d'interruption de décollage dont celui d'un écart supérieur à 20 kt entre les deux instruments, en pratique les équipages ne sont jamais confrontés à une telle panne au simulateur. Ils ne sont donc pas mécanisés sur la procédure.

Or, la rapidité du décollage impose une automatisation de tous les cas d'interruption de décollage.

Compte tenu des limites du simulateur Mirage 2000N, les équipages ne sont pas mécanisés sur la procédure d'interruption de décollage à appliquer dans le cas d'une incohérence de vitesse. L'absence d'une mécanisation de l'équipage sur ce cas de panne est à l'origine d'une prise de décision tardive d'interruption de décollage.

Conscience de la situation

Le mardi 26 septembre 2017 (le jour de la première tentative de départ), lors du tour avion, le pilote demande si les sondes ont été contrôlées. En effet, il a conscience que l'avion a été immobilisé environ trois semaines et la présence de nombreux insectes à N'Djamena lui fait craindre une sonde obstruée. Le mécanicien lui répond qu'elles ont été vérifiées et qu'une sonde de température d'impact a été débouchée. Deux jours plus tard, le jour de l'évènement, le pilote remarque la présence d'araignées et d'insectes sur l'avion mais considère que les sondes ont été contrôlées au vu de l'échange qu'il a eu deux jours avant.

Il est possible qu'ayant eu une confirmation du contrôle des sondes anémométriques, l'analyse de la situation par le pilote ait été altérée et que la prise de conscience d'une panne anémométrique ait été retardée.

Lors de la course au décollage, le pilote remarque que le Jx a déjà dépassé la valeur attendue. La vitesse met plus de temps qu'habituellement pour atteindre 80 kt. Considérant que les informations de Jx et de vitesse sont valides, le pilote ne cherche pas à comprendre cet écart avec l'attendu par un contrôle de ses instruments mais le considère comme normal. Deux biais de confirmation interviennent ici :

- prenant conscience qu'il est pressé de décoller, il interprète la faible augmentation de vitesse indiquée comme la manifestation de son impatience ;
- comme l'aéronef est en configuration plus légère, contrairement à tous les vols effectués lors du détachement, la MINI PC²⁷ n'est pas nécessaire avant le lâcher des freins. De ce fait, le pilote s'explique aussi la faible augmentation de vitesse par l'absence de MINI PC au décollage.

Le pilote a subi deux biais de confirmation qui l'ont conduit à ne tenir compte que des paramètres évoluant nominalement (comme le Jx) et à trouver des explications erronées aux paramètres évoluant de manière non habituelle, ce qui a retardé sa prise de décision d'interruption de décollage.

²⁷ MINI PC : en configuration dite lourde, il est préconisé de mettre la PC en position minimum avant le lâcher des freins. Pour un décollage normal la PC n'est utilisée qu'à partir du moment où l'avion commence à avancer.

Lors de la course au décollage les échanges entre le pilote et le NOSA sont standardisés. Ainsi, concernant le contrôle du Jx et de la vitesse, après avoir annoncé le débit carburant attendu, ce qui permet au pilote de confirmer la pleine PC, le NOSA doit surveiller la vitesse pour annoncer 80 kt. À l'annonce « 80 kt », le pilote doit répondre par la lecture de la valeur du Jx affiché.

À cette vitesse le Jx doit avoir atteint une valeur supérieure ou égale à la valeur du Jx minimal calculé avant vol. L'interruption de décollage intervient si le Jx lu est inférieur à cet instant au Jx minimal.

Lors de l'évènement, le NOSA annonce le débit carburant, puis il regarde le Jx sur la banquette droite. Habituellement, lorsque le Jx atteint la valeur attendue, il regarde la vitesse et celle-ci est très proche des 80 kt. À cet instant la vitesse affichée n'est que de 40 kt-50 kt. Ayant l'impression que le temps est plus long que d'habitude avant l'annonce du NOSA à 80 kt, le pilote constate que son Jx est de 0,46 (supérieur au Jx calculé). Malgré une vitesse affichée à 50 kt, le pilote, victime d'un biais de confirmation, décide d'annoncer le Jx.

Encore peu expérimenté, l'équipage qui a hâte de décoller a été trop vite dans la procédure en n'accordant une importance qu'au résultat final attendu, la valeur du Jx.

En annonçant un Jx stabilisé à 0,46 avant l'annonce de 80 kt par le NOSA, le pilote rompt une barrière permettant de contrôler la cohérence entre la vitesse et le Jx. Lorsque le NOSA annonce enfin 80 kt, le Jx commence à décroître et n'est plus qu'à 0,40. Une diminution du Jx à 80 kt aurait pu alerter l'équipage, mais à cet instant, l'équipage contrôle uniquement la valeur du Jx et non son évolution, en s'assurant qu'il reste supérieur ou égal à la valeur minimale. La valeur minimale de Jx calculée par le NOSA avant le vol étant de 0,40, l'équipage décide de poursuivre le décollage.

L'équipage encore peu expérimenté et pressé de décoller a subi une focalisation attentionnelle sur le Jx lors de la course au décollage. La conscience erronée de la situation au moment de l'évènement a conduit à une gestion inappropriée de l'évènement, en retardant la décision d'interruption de décollage.

Procédure de vérification de la cohérence de vitesse

Avant son affectation sur Mirage 2000N, le pilote effectue une formation sur Mirage 2000B et C où il apprend le pilotage basique du Mirage 2000. Les procédures enseignées amènent le pilote à piloter seul son aéronef. Les procédures (check-list et guide d'utilisation opérationnel basique) ne décrivent pas la nécessité de vérifier l'information de vitesse sur une autre source d'information que celle de la VTH. Les procédures secours prévoient qu'en cas de problème d'anémométrie (désaccord important entre les Vi VTH et anémomètre) avant la vitesse de décision, le décollage doit être interrompu. Le pilote n'est pas mécanisé pour la recherche d'une deuxième source d'information de vitesse. Cette procédure impose au pilote, en phase d'accélération, de venir chercher l'information sur le petit instrument situé sur la planche de bord. En pratique – mais rien n'est écrit sur ce point – il est enseigné aux stagiaires pilotes de déclencher le chronomètre et de s'assurer que l'aéronef atteint 80 kt à environ 15 secondes. Cette procédure est également utilisée sur les aéronefs sur lesquels les stagiaires ont effectué leur formation (Alphajet, Epsilon, GROB 120). Sur ces aéronefs il s'agit de la procédure prévue, alors qu'il ne s'agit que d'un usage sur Mirage 2000 (il n'y a pas de courbe de performance qui permette de calculer théoriquement cette accélération grâce au chronomètre).

La procédure utilisée sur Mirage 2000N nécessite l'implication des deux membres d'équipage. Le pilote, qui reste au final celui qui peut et doit agir dans l'urgence, ne peut détecter facilement de manière autonome l'incohérence de vitesse.

Sur d'autres types d'aéronef (Mirage 2000D et Rafale) utilisés en équipage (pilote et NOSA), les procédures liées aux phases critiques du vol sont conçues, à partir des procédures monoplaces, pour permettre au pilote de détecter seul toute anomalie et donc agir rapidement. Des annonces faites à certains points clé maintiennent le dialogue équipage et confèrent au NOSA un rôle de contrôle. Le NOSA est alors susceptible d'intervenir, en annonçant les anomalies détectées le plus rapidement et le plus clairement possible et en indiquant l'action à mener, si le pilote ne détecte pas lui-même l'éventuelle incohérence.

Les procédures normales sur Mirage 2000N ne décrivent pas clairement comment s'assurer de la cohérence des informations de vitesse.

Le jour de l'évènement, le pilote applique une procédure différente de celle apprise lors de son apprentissage sur Mirage 2000 B ou C. Cette procédure ne lui permet pas d'identifier facilement, à lui seul, l'incohérence de vitesse.

2.2.2.5. Partage d'expérience

Comme l'équipage, les mécaniciens du Mirage 2000N viennent de l'escadron de chasse 02.004 « La Fayette » d'Istres. Au sein du détachement ils appliquent les mêmes méthodes de travail qu'en métropole. Lors de l'évènement, l'officier mécanicien en poste est celui de l'escadron de chasse 02.004 « La Fayette », seule unité de l'armée de l'air mettant en œuvre des Mirage 2000N.

Un évènement similaire a eu lieu à Istres, près de deux mois avant l'évènement, le 3 août 2017. Lors de la course au décollage, l'équipage d'un Mirage 2000N a été confronté à une incohérence d'affichage entre la VTH/VTB et l'anémomachmètre entraînant une interruption de décollage. Comme lors de l'évènement à N'Djamena :

- le navigateur regardait, au moins dans un premier temps, la VTB pour prendre son information de vitesse et non l'anémomachmètre ;
- l'aéronef sortait d'une période de maintenance l'ayant immobilisé plusieurs jours et avait fait l'objet d'une VH1 avant sa remise en vol.

Suite à l'évènement du 3 août 2017, le nettoyage du circuit anémométrique a montré la présence de nombreux corps étrangers qui obstruaient ce circuit.



Figure 17 : corps étrangers retrouvés dans le circuit anémométrique le 3 août 2017

Cet évènement a fait l'objet d'une analyse au sein de l'escadron à Istres. Lors de cette analyse, les navigateurs les plus anciens ont rappelé l'importance de regarder l'anémomachmètre lors de la course au décollage pour pouvoir identifier toute incohérence de vitesse et interrompre rapidement le décollage. L'évènement a fait l'objet d'une fiche d'analyse d'évènement diffusée sur le réseau de sécurité aérienne OASIS. Cette fiche d'analyse n'aborde pas la problématique de l'utilisation de l'anémomachmètre par le NOSA.

Pour les mécaniciens, cet évènement a été discuté principalement au sein du service concerné regroupant les mécaniciens CDVE. Un compte rendu de fait technique, incluant un rappel sur l'importance de la bonne mise en place des caches avion, a été effectué.

Les deux OSV présents au Tchad ont bien été destinataires de la fiche d'évènement aérien. Toutefois, celle-ci n'abordant pas la problématique de l'anémomachmètre, aucun retour d'expérience sur le sujet n'a été fait avec les NOSA présents au Tchad.

Cet incident ayant eu lieu en pleine période estivale, il est possible que les défauts de communication identifiés soient liés aux contraintes de cette période (effectif restreint, titulaires des postes absents...). Par ailleurs, les contraintes sont d'autant plus fortes que les effectifs sont en baisse en raison de la fermeture de l'escadron prévue à l'été 2018. Lors de l'évènement d'août 2017 les deux officiers sécurité des vols étaient simultanément en opération extérieure. Les responsabilités d'OSV à Istres étaient assurées par un ancien OSV de l'unité. De ce fait, leur absence conjointe a pu gêner l'analyse et la bonne diffusion de l'information.

La communication incomplète de l'évènement précurseur aux personnels en opération extérieure n'a pas permis de les alerter sur la possibilité d'un tel évènement ni sur la nécessité, pour le NOSA, de lire la vitesse sur l'anémomachmètre lors de la course au décollage.

2.2.2.6. Coursus du navigateur

Le navigateur a une progression particulièrement atypique. Arrêté de progression alors qu'il était pilote en transformation sur Mirage 2000, il a été affecté sur un poste à l'étranger pendant deux années sans activité aéronautique. De retour en France il a été réorienté navigateur chasse et a débuté sa formation avant d'arriver au printemps 2014 au sein de l'escadron de chasse 02.004 « La Fayette ». À l'été 2015, alors qu'il vient d'être qualifié navigateur de combat opérationnel, une indisponibilité médicale l'amène à être arrêté de vol pendant neuf mois. Il reprend l'activité aérienne au début de l'année 2017 et fait l'objet d'un programme spécifique de réentraînement.

Au regard des difficultés manifestes de progression du NOSA, la hiérarchie a fait le choix de le maintenir dans son emploi et de lui accorder des vols supplémentaires lors de sa progression au CFEN. De fortes contraintes de ressource dans la population des navigateurs et l'impérieuse nécessité d'honorer les contrats opérationnels ont pu influencer ce choix. Enfin, le navigateur a démontré durant sa progression une vraie volonté de progresser et est réputé pour être travailleur. Au regard du niveau atteint, l'encadrement lui a attribué sa qualification de navigateur de combat opérationnel.

Le cursus aéronautique « en pointillé » du NOSA n'a pas favorisé l'acquisition du « sens de l'air » et de l'aisance en vol. Cette progression atypique a contribué à une dérive dans l'application des procédures le jour de l'évènement.

2.2.3. Gestion de l'éjection



Figure 18 : position des éjections

Compte tenu de la chronologie de la séquence de l'éjection (0,515 seconde entre l'action sur la poignée et le départ du dernier siège), et du temps nécessaire pour détecter une information imposant l'éjection et pour actionner la poignée, il est impératif de ne pas perdre de temps pour s'éjecter une fois l'information obtenue.

La réussite de l'éjection reste liée à l'intégrité de la cellule de l'aéronef. En effet une cellule « vrillée » pourrait perturber voire interdire le départ du siège éjectable. Une sortie de piste à vitesse élevée pourrait entraîner une déformation de la cellule. Dans cet événement l'éjection du pilote, réalisée à plus de 160 kt, intervient en dehors de la piste (environ 3 mètres après).

La décision de s'éjecter doit donc, en fonction des circonstances, être suffisamment anticipée.

PAS DE TEXTE

3. CONCLUSION

L'évènement, qui a abouti à l'éjection de l'équipage, est une interruption de décollage tardive suite à une obturation du circuit anémométrique.

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

L'aéronef sort d'une longue période d'immobilisation. Conscient du risque technique après l'immobilisation de l'aéronef, et à défaut de pouvoir réaliser un vol local de contrôle, un point fixe a été réalisé par l'OSV.

Compte tenu de l'arrivée de la relève du détachement, l'équipage a dormi sous une tente.

L'équipage est constitué d'un pilote qui a réussi ses vols de qualification de sous-chef de patrouille²⁸ (SCP) juste avant le détachement et d'un NOSA qualifié navigateur de combat opérationnel²⁹ (NCO) dont la progression aéronautique a été interrompue par une mutation de deux années à l'étranger et une indisponibilité médicale de neuf mois.

Le décollage intervient deux jours après deux départs annulés suite à des aléas techniques.

Durant l'accélération au décollage, le pilote et le NOSA, qui prennent l'information de vitesse sur des instruments utilisant la même source d'information, ne détectent pas l'incohérence de vitesse.

L'interruption de décollage, déclenchée tardivement (l'aéronef atteint 235 kt), ne permet pas d'arrêter l'aéronef avant la fin de la piste.

L'équipage s'éjecte à plus de 160 kt. Le pilote s'éjecte après la fin de piste.

3.2. Causes de l'évènement

Les causes de l'accident sont les suivantes :

- l'obstruction du circuit anémométrique de la pression totale T3 liée à une longue immobilisation de l'aéronef ayant permis l'installation de corps étrangers ;
- une interprétation inadaptée de la documentation de maintenance et l'absence de consignes spécifiques lorsque les aéronefs évoluent dans des environnements poussiéreux et particulièrement pourvus d'araignées ou d'insectes ;
- une migration des pratiques dans la procédure de vérifications des instruments lors de la course au décollage, qui ne permet pas de vérifier la cohérence des informations de vitesse ;
- la faible synergie au sein de l'équipage liée à sa composition ;
- les conditions de logement de l'équipage qui ont entraîné un état de fatigue ayant altéré leur capacité d'analyse ;
- une surmotivation à effectuer la mission, liée aux deux précédents départs annulés deux jours auparavant, qui a conduit à un biais dans l'analyse de l'équipage et à une prise de décision tardive ;
- le manque de repères lié à l'absence de panneau de distance restante et au nombre limité de décollages effectués dans ce sens sur cette piste, qui prive l'équipage d'un moyen d'alerte sur la distance excessive parcourue ;

²⁸ Aptitude à diriger une patrouille de deux aéronefs.

²⁹ Correspond au premier niveau de qualification permettant à un navigateur d'effectuer des missions opérationnelles.

- l'absence de mécanisation de l'équipage au simulateur sur ce type de panne, aujourd'hui impossible à simuler, qui a retardé la prise de décision ;
- une conscience erronée de la situation associée à une focalisation sur le Jx qui a retardé la décision d'interruption de décollage ;
- une analyse et une communication incomplètes d'un évènement précurseur, liées à l'organisation conjoncturelle de l'unité, qui a empêché une sensibilisation efficace à la procédure de vérification de la cohérence de la vitesse ;
- un cursus aéronautique atypique du NOSA qui a favorisé une dérive dans l'application des procédures.

4. RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

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

4.1.1. Documentation de maintenance

Les notions de disponibilité et d'indisponibilité des aéronefs utilisées dans le PEC et le PEA entraînent une compréhension erronée du plan de maintenance. La lecture inadaptée du plan de maintenance conduit à une suspension inopportune des VH et à l'absence d'un contrôle optimal des sondes.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à la DMAé et à Dassault Aviation, en relation avec l'armée de l'air, de modifier la documentation de maintenance des Mirage 2000 afin d'éviter toute interprétation inopportune dans l'exécution des visites VH1 et 2.

R1 – [A-2017-13-A]

4.1.2. Protection des sondes au sol

Au sol, les sondes sont particulièrement vulnérables au risque d'obstruction partielle ou totale (poussière, morceaux de feuille, nidification d'araignées ou d'insectes...). Les caches placés sur les sondes ont alors un rôle essentiel. Certains caches ont pu présenter un état d'usage avancé sur plusieurs avions. Par ailleurs, en fonction des tâches à réaliser, des caches peuvent être enlevés toute la journée, sans que ce long retrait ne soit toujours justifié.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'air de sensibiliser les personnels mécaniciens et navigants sur l'importance de bien mettre en place les caches et de s'assurer de leur intégrité (état physique et absence de corps étrangers).

R2 – [A-2017-13-A]

4.1.3. Adaptation de la maintenance en fonction de l'environnement

Lors de la visite journalière effectuée le jour du départ, une sonde a été constatée obstruée. Dans ce cas, hormis la maintenance de ladite sonde, la documentation ne prévoit pas d'action spécifique sur les autres éléments du circuit anémométrique (notamment lorsque l'environnement local rend l'aéronef vulnérable : poussière, araignées, insectes...).

En conséquence, le BEA-É recommande :

à Dassault Aviation de mener une réflexion sur l'opportunité de mettre en place des actions de maintenance supplémentaires sur le circuit anémométrique lorsqu'une sonde est constatée obstruée.

R3 – [A-2017-13-A]

4.1.4. Procédure de vérification de la cohérence des vitesses

La détection par l'équipage d'un problème sur un des circuits anémométriques ne peut être réalisée que par la lecture de l'information de vitesse sur des sources différentes. Suite à des incidents, la check-list Mirage 2000N a été modifiée en 2013 en insérant clairement l'incohérence de vitesse comme un cas d'interruption de décollage. Lors de la formation initiale, les équipages sont entraînés dans ce sens. Toutefois la documentation ne décrit pas précisément la méthode (qui doit regarder quel instrument) et le simulateur ne permet pas de reproduire directement ce type de panne.

Durant les phases critiques du vol, les procédures doivent être claires et ne souffrir d'aucune ambiguïté (qui fait quoi). Elles doivent permettre au pilote de monoplace comme de biplace de détecter toute anomalie facilement et ainsi lui permettre de réagir rapidement. C'est de lui seul que procèdent les actions mécanisées en situation d'urgence. Sur biplace, la présence du NOSA doit permettre de garantir un niveau de sécurité supérieur en assurant un contrôle supplémentaire. Le NOSA n'intervient que pour signaler toute anomalie, et surtout, indiquer l'action à mener au pilote lors de cette phase critique du vol où l'instauration d'un dialogue risque d'induire une perte de temps rédhibitoire.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'air de définir une procédure claire et simple permettant de s'assurer de la cohérence des informations de vitesse pour chaque type de Mirage 2000. Cette procédure doit permettre au pilote d'identifier seul toute anomalie et donc d'agir rapidement. Sur biplace, le NOSA ne doit intervenir que pour signaler une incohérence et indiquer l'action à mener au pilote dans les phases critiques du vol, où le dialogue doit être réduit au strict nécessaire.

R4 – [A-2017-13-A]

4.1.5. Repères visuels

Les équipages de l'armée de l'air évoluent principalement sur des pistes aménagées aux normes de l'OTAN³⁰. Celles-ci sont dotées de panneaux, espacés de 400 mètres, indiquant la distance restante avant la fin de la piste. Lors de déploiements sur des aérodromes civils, les équipages ne disposent pas de ce type de repère.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'air de demander à ses équipages de rechercher, lors de la préparation de mission, des points de repère (tour de contrôle, taxiway...) permettant de marquer les points critiques des phases de décollage et atterrissage (point attendu d'atteinte de la vitesse de décision, contrôle de la décélération à l'atterrissage...) lorsqu'ils doivent évoluer sur des pistes non munies de panneaux de distance.

R5 – [A-2017-13-A]

³⁰ OTAN : Organisation du Traité de l'Atlantique Nord.

4.1.6. Mécanisation des équipages au simulateur

Compte tenu de la phase sensible qu'est le décollage (temps de réaction très faible), il est souhaitable d'aider les équipages à se mécaniser sur les pannes de circuit anémométrique. Si le simulateur Mirage 2000N ne permet pas de reproduire aisément ce type de panne, il est toutefois possible de déclencher une dérive lente de l'information de vitesse de l'anémomètre.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'air d'étudier la possibilité d'entraîner ses équipages volant sur les versions du Mirage 2000 encore en service à détecter une incohérence de vitesse en phase de décollage au simulateur (le cas échéant par la modification des capacités du simulateur si nécessaire et si possible).

R6 – [A-2017-13-A]

4.1.7. Retour d'expérience

Un évènement similaire survenu le 3 août 2017 à Istres a conduit à une interruption de décollage. Cet évènement a fait l'objet d'une FEA. Elle a permis de rappeler aux NOSA, présents au sein de l'unité à Istres, la nécessité de prendre l'information de vitesse sur l'anémomètre lors du décollage, ce point ne figurant pas dans la FEA. Ce rappel n'a pas été relayé vers les équipages présents sur le théâtre d'opération. Un système moderne de gestion de la sécurité doit être basé sur la détection, l'analyse et le partage des signaux précurseurs. Cet évènement doit servir d'exemple.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'air de sensibiliser la chaîne de sécurité aérienne à la nécessité d'une analyse exhaustive des évènements significatifs et de rappeler l'importance de la diffusion de ces évènements et de leur analyse auprès de l'ensemble des utilisateurs potentiellement concernés : autres escadrons utilisant des systèmes similaires, déploiements opérationnels, personnel en retour de permission, etc.

R7 – [A-2017-13-A]

4.1.8. Conditions d'hébergement

Lorsqu'une relève arrive sur un théâtre d'opération, les personnels achevant leur mandat laissent leur chambre au profit des nouveaux arrivants et sont placés dans des hébergements plus rustiques (type tente). Ce principe est motivé par l'idée de mettre dans les meilleures dispositions possibles les militaires qui s'engagent en opération et le fait que le personnel rentrant pourra se reposer lors de son retour. Dans le cas présent, onze personnes participaient, en tant que membre d'équipage, au transit retour. Ainsi, alors qu'il était habitué à dormir dans des chambres individuelles climatisées, l'équipage a passé la nuit précédant l'évènement dans une tente non climatisée sur un lit picot. Cette situation a placé l'équipage dans un état de fatigue ayant pu avoir une influence sur son analyse et ses délais de réaction lors de l'évènement.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'air de sensibiliser ses chefs de détachement et de dispositif, en liaison avec le commandement local, sur l'importance des conditions de vie avant toute mission aérienne. Ils doivent prendre les mesures nécessaires (privilégier, la veille d'une mission aérienne, les meilleures conditions d'hébergement pour les équipages) et rendre compte à la hiérarchie s'ils estiment que les conditions ne sont pas réunies ou si des mesures d'adaptation doivent être prises.

R8 – [A-2017-13-A]

4.1.9. Documentation constructeur

La panne d'anémométrie est développée dans la documentation de Dassault Aviation mais n'apparaît pas dans les actions réflexes au décollage décrites dans ce même document (annexe 1).

En conséquence, le BEA-É recommande :

à Dassault Aviation d'inclure la panne d'anémométrie (absence d'information ou incohérence) dans la liste des actions réflexes au décollage.

R9 – [A-2017-13-A]

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

4.2.1. Décision d'éjection

Voyant arriver la fin de la piste, le pilote suggère l'éjection. Le délai entre la prise de décision et l'éjection effective du dernier membre d'équipage amène le pilote à s'éjecter alors que l'aéronef est sorti de piste à une vitesse encore très élevée (plus de 150 kt). Les conséquences d'une sortie de piste à vitesse élevée peuvent amener à des dommages structuraux pouvant entraver voire empêcher l'éjection.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'air, la marine nationale et la DGA d'utiliser les moyens de simulation pour mieux préparer les équipages à l'éjection au sol.

R10 – [A-2017-13-A]

4.2.2. Prévention des blessures après une éjection

Une fois au sol, l'un des membres d'équipage s'est rapidement relevé et déplacé. Après une éjection les mouvements doivent être évités car ils risquent d'aggraver d'éventuelles lésions. Ce point a déjà fait l'objet d'une recommandation lors de l'enquête A-2014-024-A.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'air de rappeler aux équipages chasse la nécessité de limiter au strict nécessaire les mouvements au sol après une éjection.

R11 – [A-2017-13-A]

4.2.3. Modification des sièges éjectables MK10Q

Les sièges éjectables MK10Q font l'objet de modifications réalisées au fur et à mesure des visites périodiques des sièges. Ces modifications concernent un système de détrompeur au niveau des sangles inguinales ainsi que les drisses de manœuvre qui permettent d'orienter la voile du parachute avant l'atterrissage. Compte tenu de la mixité des sièges éjectables, il importe que les équipages soient sensibilisés aux différences d'utilisation notamment dans la phase de descente sous voile où la mise en œuvre du système d'orientation de la voile peut s'avérer cruciale.

En conséquence le BEA-É recommande :

à l'armée de l'air de rappeler à ses équipages de Mirage 2000 et d'Alphajet les différences d'utilisation entre les divers niveaux de modifications des sièges éjectables.

R12 – [A-2017-13-A]

4.2.4. Prévention des risques sur l'épave

Les aéronefs contiennent des matériaux particulièrement dangereux, auxquels sont exposés tous les personnels amenés à intervenir sur l'épave. Aussi, la mise en place d'un sas entrée/sortie doit être effectuée dès les premiers instants des opérations. Ce poste a la charge de mettre en place le suivi spécifique du personnel travaillant en zone polluée (vérification de l'absence de contamination, éventuel suivi dosimétrique, etc.).

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'armée de l'air, la marine nationale, l'armée de terre et la DGA de sensibiliser ses équipes d'intervention sur la nécessité de mettre en place un périmètre de sécurité permettant de filtrer l'accès en zone dangereuse et de s'assurer que les personnels disposent des équipements de protection adaptés.

R13 – [A-2017-13-A]

ANNEXES

ANNEXE 1 CHECK LIST ET DOCUMENTATION CONSTRUCTEUR.....	50
ANNEXE 2 EXTRAIT DU PEA MIRAGE 2000 ET DU GCB 108-06.....	51

ANNEXE 1
CHECK LIST ET DOCUMENTATION CONSTRUCTEUR

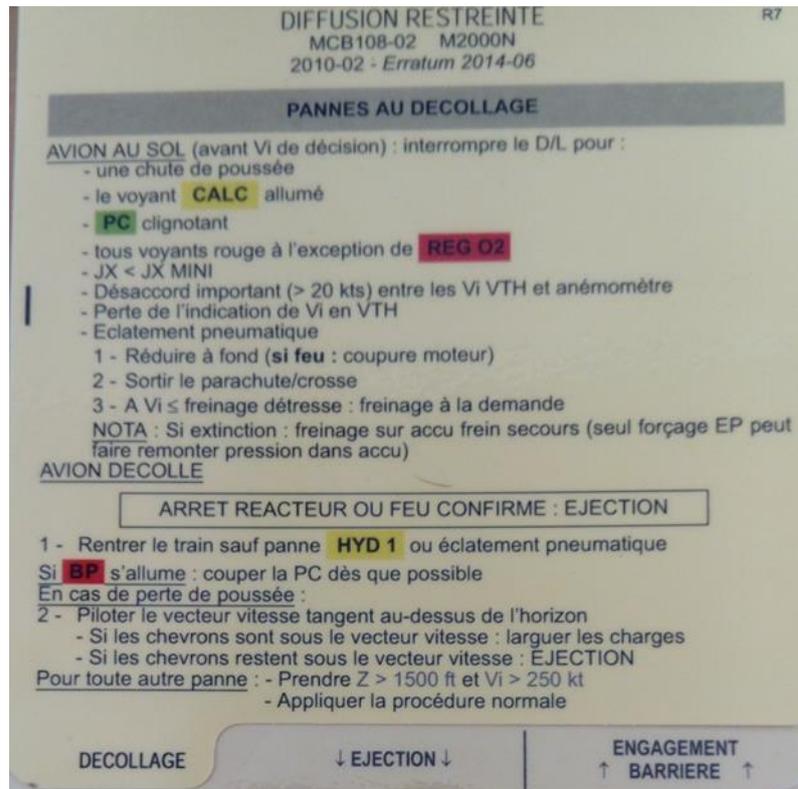


Figure 19 : extrait de la check-list pannes réflexe au décollage

2-ACTIONS REFLEXES

Les actions réflexes doivent être appliquées à un nombre réduit d'événements ou de pannes survenant durant des phases critiques de la mission.

- **Au décollage** et tant que $H \leq 1500$ ft :
 - problèmes réacteur :
 - B.P.**,
 - FEU sec ou PC,
 - CALC**,
 - voyant **PC** clignotant,
 - anomalies graves réacteur,
 - CDVE :
 - DOM** ou **GAIN** ou **US.EL** ou **DECOL**,
 - $Jx < Jx^* - 10\%$,
 - éclatement d'un pneu.
- **En vol** :
 - FEU,
 - extinction réacteur en très basse altitude,
 - **GAIN**,
 - éjection.
- **Au sol** :
 - FEU,
 - évacuation rapide,
 - engagement de la barrière d'arrêt,
 - engagement du brin d'arrêt,
 - l'avion embarque à l'atterrissage,
 - sortie de piste.

8 - COMMANDES DE VOL

8.1 - PROBLEMES D'ANEMOMETRIE

En cas de :

- désaccord important entre les vitesses indiquées (VTH/anémomètre),
- alarmes intempestives TNS, LIM,
- réactions anormales des commandes (effort important au manche aux basses vitesses, nervosité de l'avion aux fortes vitesses, mauvais amortissements),

et sans autre signalisation de panne :

AU DECOLLAGE :

Vi < VStop :

1. Interrompre le décollage.

Vi ≥ Stop :

1. Poursuivre le décollage.
2. Rester train sorti.
3. Lire la vitesse sol (VS) sur le PCN.
4. RETOUR DE SECURITE.
5. Atterrissage sur longue finale.

Figure 20 : extrait de la documentation constructeur

ANNEXE 2
EXTRAIT DU PEA MIRAGE 2000 ET DU GCB 108-06

PEA :

Exploitant de l'aéronef	Marque et type de l'aéronef
Armée de l'Air	Dassault Aviation - Mirage 2000

2.1.1.10 Entretien des aéronefs entreposés non stockés

Un aéronef entreposé non stocké est un aéronef disponible, en inactivité (cf. manuel de maintenance GCX-1XX-06 11-801), susceptible d'être utilisé rapidement.

Un aéronef entreposé non stocké suit les règles d'entretien normales définies dans le Plan d'Entretien Aéronef, en particulier pour les visites hebdomadaires et d'entretien élémentaire. Il n'y a cependant pas lieu d'effectuer les visites journalières.

Dans le cas où un avion entreposé non stocké est rendu indisponible pour des raisons logistiques (prélèvements importants) et/ou techniques (attente décision ou intervention) et que l'indisponibilité doit se prolonger, il n'est plus susceptible d'être utilisé rapidement ; il appartient au commandement de décider de procéder au stockage de type courte durée, longue durée, sous EHC ou sous HHC de cet avion. Ce dernier suivra alors l'entretien correspondant au stockage retenu suivant les indications mentionnées ci-dessus.

Rappel : pour les équipements, se rapporter à la Section 3 du présent document.

Figure 21 : extrait du PEA

GCB 108-06 :

4 - CATEGORIES DE STOCKAGE

A - AERONEF ENTREPOSE NON STOCKE

Un aéronef entreposé non stocké est susceptible d'être rendu opérationnel dans des délais très courts, après des opérations limitées de repose d'équipements. Il ne subit aucune opération de protection.

Les moteurs et radars sont soumis aux précautions énoncées "CAS D'APPLICATION D'UNE DES METHODES DE STOCKAGE".

L'aéronef entreposé non stocké est maintenu à l'état disponible.

"DASSAULT AVIATION Proprietary Data"

01-007
05/2005

Figure 22 : GCB 108-06 informations générales