



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 30 novembre 2007

RAPPORT PUBLIC D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-A-2007-007-A

Date de l'événement	19 février 2007
Lieu	En mer, à 3 nautiques dans le sud ouest de Bonifacio
Type d'appareil	Mirage 2000 C RDI
Immatriculation	116 KH
Organisme	Armée de l'air
Unité	Escadron de chasse « Picardie » 2-12

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.

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 exclusive 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.

TABLE DES MATIERES

<i>Avertissement</i>	2
<i>Table des matières</i>	3
<i>Glossaire</i>	5
<i>Table des illustrations</i>	6
<i>Synopsis</i>	7
1 Renseignements de base	10
1.1 Déroulement du vol.....	10
1.1.1 Mission.....	10
1.1.2 Déroulement.....	10
1.1.2.1 Préparation du vol.....	10
1.1.2.2 Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'évènement.....	11
1.1.2.3 Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol.....	11
Localisation.....	12
1.2 Tués et blessés.....	12
1.3 Dommages à l'aéronef.....	13
1.4 Autres dommages.....	13
1.5 Renseignements sur le personnel.....	13
1.5.1 Pilote.....	13
1.6 Renseignements sur l'aéronef.....	14
1.6.1 Maintenance.....	14
1.6.2 Carburant.....	15
1.6.3 Autres fluides.....	15
1.7 Conditions météorologiques.....	15
1.7.1 Prévisions.....	15
1.8 Télécommunications.....	15
1.9 Renseignements sur l'épave et sur l'impact.....	16
1.9.1 Examen de la zone.....	16
1.9.2 Remontée du FDR.....	16
1.9.3 Examen de l'épave.....	17
1.9.3.1 Constatations générales.....	17
1.10 Renseignements médicaux et pathologiques.....	21
1.10.1 Membres d'équipage de conduite.....	21
1.10.1.1 Commandant de bord.....	21
1.11 Incendie.....	21
1.12 Survie des occupants.....	21
1.12.1 Abandon de bord.....	21
1.12.2 Organisation des secours.....	22
1.13 Essais et recherches.....	22
1.14 Renseignements divers.....	22
2 Analyse	23
2.1 Dépouillement du FDR.....	23
2.1.1 Etude de la trajectoire.....	23
2.1.2 Paramètres techniques.....	26
2.1.2.1 Moteur.....	26
2.1.2.2 Commandes de vol.....	26
2.1.3 Paramètres physiologiques.....	27
2.1.3.1 Analyse de la variation du facteur de charge.....	27
2.1.3.2 Analyse de l'exposition du pilote au facteur de charge d'après l'expertise du LAMAS.....	30
2.1.4 Absence de réaction du pilote.....	35
2.1.4.1 Cas de l'illusion sensorielle.....	35
2.1.4.2 Cas de la collision volatile.....	36

2.2 Les circonstances environnementales	37
2.2.1 Changement de mission.....	37
2.2.2 Situation individuelle.....	37
2.2.3 Déficit culturel au sein de l'institution	38
2.2.3.1 Prise en compte du phénomène par l'armée de l'air	38
2.2.3.2 Les unités opérationnelles.....	39
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	42
4.1 Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	43
4.1.1 Formation des pilotes de chasse aux risques liés au facteur de charge.....	43
4.1.2 Au sein des unités opérationnelles.....	44
4.1.3 Importance du paramètre alimentation	45
4.2 Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	46
4.2.1 Étude du potentiel Risque.....	46
4.2.2 Formation des médecins des bases aux risques liés au facteur de charge.....	47
5 Traduction clinique du facteur de charge	49
6 Variabilité de la tolérance aux accélérations	50
7 Amélioration de la performance grâce aux techniques de protection anti-G	51
BIBLIOGRAPHIE	53

GLOSSAIRE

A-LOC	<i>Almost Loss Of Consciousness</i> -quasi perte de conscience
BEAD-air	Bureau enquêtes accidents défense air
CEMPN	Centre d'expertises médicales du personnel navigant
CFA	Commandement des forces aériennes
CPUT	Consignes permanentes d'utilisation du terrain
FDR	<i>Flight Data Recorder</i> : Enregistreur de paramètres de vol
Ft	<i>Feet</i> - pied (1 ft \approx 0,30 mètre)
G-LOC	<i>G-induced loss of consciousness</i> - perte de conscience liée au facteur de charge
Gz	Unité d'accélération verticale
Kt	<i>Knots - noeuds</i> (1 kt \approx 1,852 km/h)
LAMAS	Laboratoire de médecine aérospatiale
Nm	<i>Nautical Miles</i> - mille nautiques
PN	Personnel navigant
S.A.R.	<i>Search and Rescue</i> - recherche et sauvetage
BMR	Bureau Maîtrise des Risques
BFM	Basic flight maneuvers - combat rapproché
FMC	Formation de Manœuvre de Combat
SNA	Système de Navigation et d'Armement
CROSS	centre régional des opérations de secours et de sauvetage
SNSM	Société nationale de sauvetage en mer
CECMED	Commandement en chef de la Méditerranée

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Photo1 : Débris sur le fond _____	p 18
Photo 2 : Débris sur le fond _____	p 18
Photo 3 : Vue du moteur cassé en deux parties _____	p 19
Photo 4 : Vue de la tuyère retrouvée fermée _____	p 19
Photo 5 : Vue d'une partie des fusées du siège éjectable non consommées _____	p 20

Graphiques :

Graphique n°1 : Prise du facteur de charge et position des commandes de vol associées jusqu'à l'impact _____	p 29
Graphique n°2 : Prise du facteur de charge et paramètres de vol associés jusqu'à l'impact _____	p 29
Graphique n°3 : Superposition de la courbe du facteur de charge subie par le pilote au modèle de STOLL _____	p 32

Carte n°1 :

Trajectographie reconstituée, en rouge Rupin Hôtel Leader, en vert et bleu Rupin Lima" _____	p 24
--	------

SYNOPSIS

- Date de l'événement : lundi 19 février 2007 à 11h53¹ ;
- Lieu de l'événement : en mer à environ 3 milles nautiques (Nm) dans le sud ouest de Bonifacio ;
- Organisme : armée de l'air ;
- Commandement organique : commandement des forces aériennes (CFA) ;
- Unité : escadron de chasse 02.012 « Picardie », base aérienne 103 Cambrai ;
- Aéronef : Mirage 2000 C RDI ;
- Nature du vol : navigation basse altitude au dessus de la mer ;
- Nombre de personnes à bord : une.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Au cours d'une navigation basse altitude sur la mer au sud de la Corse, «Rupin Hotel leader », un Mirage 2000 C, croise « Rupin Lima » une patrouille de deux Mirages 2000C. Il entreprend un virage par la droite puis percute la mer. Le pilote ne s'est pas éjecté, il est décédé.

L'épave disloquée de l'appareil gît par 66 mètres de fond.

¹ Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heures locales.

Composition du groupe d'enquête technique

- Deux enquêteurs techniques du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air) :
 - un directeur d'enquêteur ;
 - un enquêteur adjoint.
- Un officier pilote ayant une expertise sur ce type d'avion ;
- Un officier mécanicien ayant une expertise sur ce type d'avion ;
- Un médecin du personnel navigant ;
- Un médecin du laboratoire de médecine aérospatiale.

Autres experts consultés

- Un spécialiste du Système de Navigation et d'Armement (SNA).

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air est prévenu téléphoniquement le 19 février 2007 à 12h30 par le bureau maîtrise des risques (BMR) de l'Armée de l'air.

Un groupe d'enquête est aussitôt constitué.

Les messages de notification au BEAD-air et de déclenchement d'enquête sont établis dans l'après-midi.

Le directeur d'enquête et son adjoint ainsi que les experts pilotes et mécaniciens se rendent à Solenzara dans la soirée. Ils retrouvent l'expert médecin déjà sur place.

Enquête judiciaire

- Le parquet de Bastia s'est saisi de l'affaire.
- Un officier de police judiciaire a été commis.
- Il n'y a pas d'expert judiciaire.

1 RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

1.1.1 Mission

Indicatif mission	Rupin Hôtel leader
Type de vol	COM Victor
Type de mission	Navigation basse altitude
Dernier point de départ	Solenzara
Heure de départ	11h09
Point d'atterrissage prévu	Solenzara

1.1.2 Déroulement

1.1.2.1 Préparation du vol

La mission initialement prévue était une mission de type *Basic flight maneuvers* (BFM²) à deux avions, annulée suite à la panne après décollage du numéro 2 de la patrouille.

Selon le témoignage du numéro 2, un briefing avant vol, concernant la mission initiale des « Rupin Hôtel », a été effectué.

Aucun briefing avant vol concernant la mission de remplacement éventuelle n'a été effectué.

² *Basic flight maneuvers* : combat rapproché.

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

Une formation de deux Mirages 2000C, « Rupin Hôtel », décolle de la Base aérienne 126 de Solenzara à 11h09 pour une mission d'entraînement au combat rapproché dans la zone D67 sud. Quelques minutes après le décollage, le numéro 2 de la patrouille annonce une panne anémomètre et de commande de vol. La mission est annulée et le leader accompagne son équipier jusqu'à l'atterrissage sur la Base de Solenzara à 11h34, soit 25 minutes après le décollage.

Le leader choisit d'optimiser l'intérêt du vol, il remet les gaz pour effectuer une mission de remplacement qui est une navigation basse altitude. Il active en vol, sur la fréquence de Solenzara, le plan de vol numéro 2 défini par les consignes permanentes d'utilisation du terrain (CPUT) (demi tour de la Corse par le sud). Il survole le terrain de Figari à 11h40 et celui d'Ajaccio à 11h46 puis revient vers le sud de la Corse.

1.1.2.3 Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol

Lorsque « Rupin Hôtel Leader » coupe les axes de piste de Figari au cap 120, une patrouille de deux Mirages 2000 C, « Rupin Lima », passe travers Bonifacio à 500 ft. Ces derniers sont en formation de manœuvre de combat (FMC) séparés d'environ 1500 mètres à 500 ft mer, au cap 300. Le leader est à droite et l'équipier à gauche et légèrement en retrait, ils se préparent à la reconnaissance du terrain de Figari. La patrouille acquiert le visuel de « Rupin Hôtel leader » qui est à 500 ft mer et environ 1 mille nautique (Nm) devant eux, au cap inverse.

Il va croiser au milieu de leur formation. La patrouille fait un battement d'ailes pour lui signifier qu'elle voit l'avion en rapprochement. Après le croisement, « Rupin Lima 2 » observe « Rupin Hôtel Leader » dans son rétroviseur et le voit partir en virage serré par la droite. « Rupin Lima 2 » tourne légèrement sur la gauche pour suivre des yeux le chasseur et observe « Rupin Hôtel leader » percuter la mer. L'impact a lieu dans le relèvement 250 de Bonifacio à environ 4 Nm soit 41 minutes après le décollage.

Le pilote ne s'est pas éjecté.

1.1.3 Localisation

- Lieu : en mer, dans l'Ouest/Sud-ouest de Bonifacio pour 4 nautiques :
 - ⇒ pays : France ;
 - ⇒ département : Corse du sud ;
 - ⇒ coordonnées géographiques :
 - N 41.22 ;
 - E 009.05.
 - ⇒ hauteur / altitude du lieu de l'événement : Mer.
- Moment : jour ;
- Aéroport le plus proche au moment de l'événement : Figari à 8 Nm dans le relèvement 010 du lieu de l'événement.

1.2 Tués et blessés

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

1.3 Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
X		X		

1.4 Autres dommages

Néant.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Pilote

- Age : 35 ans ;
- Unité d'affectation : escadron de chasse 02.012 « Picardie », Base aérienne 103 Cambrai :
 - ⇒ fonction dans l'unité : commandant d'escadrille.
- Formation :
 - ⇒ qualification : chef de patrouille.
- Carte de circulation aérienne :
 - ⇒ type : carte verte ;
 - ⇒ date d'expiration : 08/12/2007.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : Armée de l'air ;
- Commandement organique d'appartenance : CFA ;
- Base aérienne de stationnement : base aérienne 126 de Solenzara ;
- Unité d'affectation : base aérienne 103 de Cambrai ;
- Type d'aéronef : Mirage 2000 C RDI :
 - ⇒ configuration : 1 réservoir pendulaire largable RPL 522, 2 lance-missiles LM 2255, 2 lance-missiles LM 2153, 1 missile MAGIC d'entraînement ;
 - ⇒ armement : 2x124 obus d'exercice OXL, 12 cartouches leurres IR, 1 lance paillettes partiellement plein.
 - ⇒ Caractéristiques :

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis
Cellule	M2000 C	116	3017h05	GV1 ³ : 67h30
Moteur	M53-P2	60257	2520h10	Sortie NTI2 ⁴ : 52h59

1.6.1 Maintenance

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

³ GV1 = première grande visite

⁴ NTI2 = 2^{ème} niveau technique d'intervention

1.6.2 Carburant

- Type de carburant utilisé : F34 ;
- Quantité de carburant au décollage : 4,5 tonnes ;
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : 2 tonnes.

1.6.3 Autres fluides

Fluide hydraulique standard (circuits hydrauliques 1 et 2) / oxygène liquide (convertisseur oxygène) / oxygène gazeux (bouteille oxygène secours) / eau distillée (évaporateur) / azote gazeux (vérins, pneumatiques, LM 2255) / huile standard (vario-alternateurs, moteur, relais accessoires).

Une analyse à la source de la qualité de l'oxygène fourni aux avions n'a montré aucune anomalie de ce gaz respiré par les pilotes.

1.7 Conditions météorologiques

1.7.1 Prévisions

Les prévisions météorologiques ont été fournies par la station de Solenzara. Elles annonçaient un plafond nuageux au FL 40 avec un vent du 060 pour 6 kt et une visibilité supérieure à 10 km.

Les conditions météorologiques étaient conformes aux prévisions.

1.8 Télécommunications

Les contacts radio prévus sont effectués normalement.

Aucun message de détresse n'est reçu sur aucune des fréquences.

Enregistreurs de bord

- Enregistreurs « d'accidents » (FDR) des « Rupin Lima » et de « Rupin Hôtel »;
- Enregistrements vidéo et audio sur les cassettes Hi8 des « Rupin Lima ».

1.9 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.9.1 Examen de la zone

L'avion s'est abîmé en mer par 41°21 de latitude Nord et 9°05 de longitude Est, soit à 2 Nm de la côte sud de la Corse et gît par 66 m de profondeur.

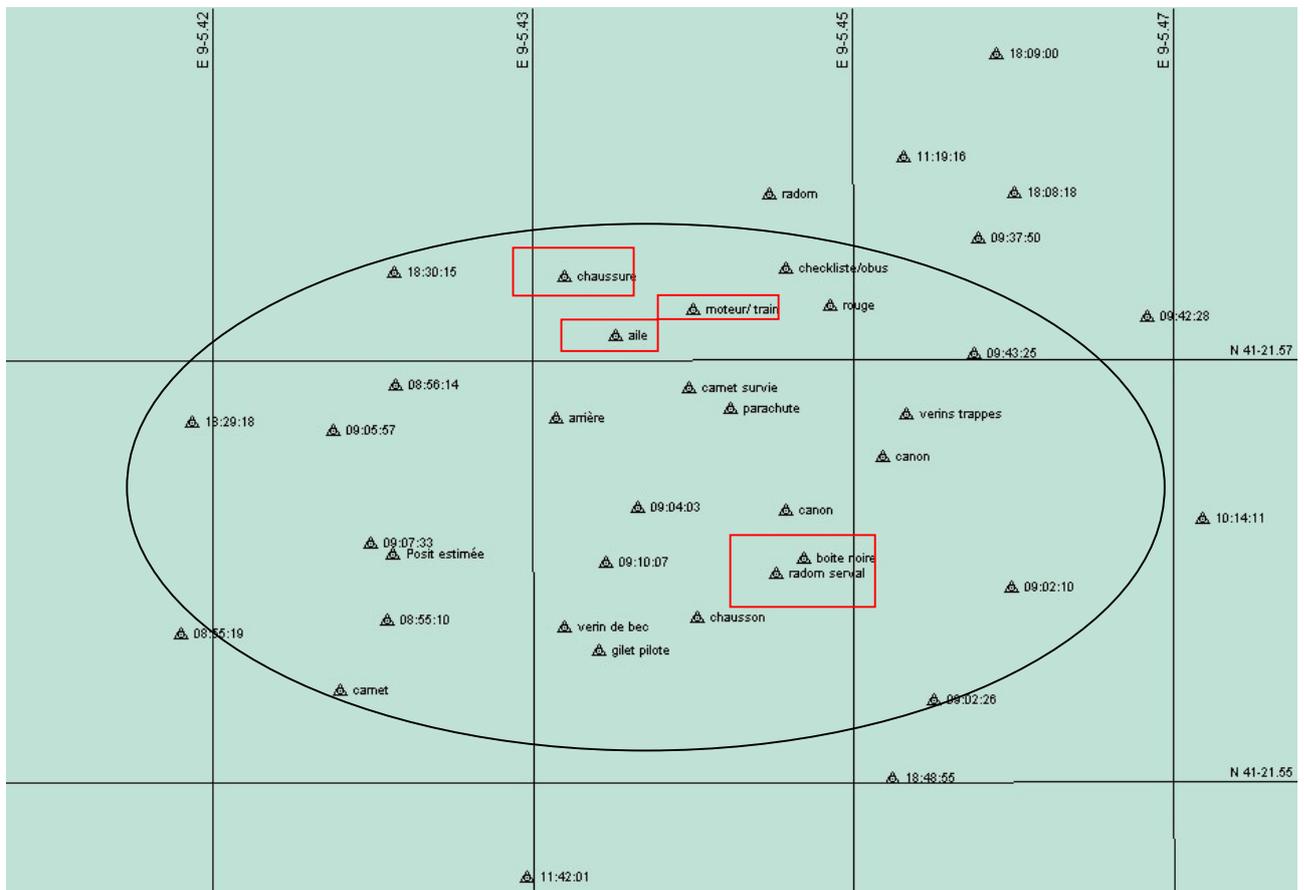
La Marine nationale réalise l'exploration de la zone, localise l'épave et confirme l'émission de la balise de localisation du FDR.

Il est alors constaté que l'épave est complètement disloquée. Les débris sont concentrés dans une ellipse de 60 sur 30 mètres.

1.9.2 Remontée du FDR

Le FDR a été repéré dès le 20 février par le chasseur de mines « Capricorne », mais il n'a pu être récupéré que le 21 février à 18h15 grâce à la participation de « l'Ailette », bâtiment de la marine nationale, disposant de moyens de recherches et d'investigations en profondeur.

Le FDR est en bon état.



Position des débris sur le fond

1.9.3 Examen de l'épave

1.9.3.1 Constatations générales

L'avion a été pulvérisé lors de l'impact sur la mer. Les débris sont éparpillés sur le fond sablonneux. Le plus gros morceau est le moteur, cassé en deux parties, et déformé. La tuyère est en position fermée. Le siège du pilote est détruit, les fusées du mécanisme d'éjection sont éparpillées et retrouvées non consommées.



Photo1 : Débris sur le fond



Photo 2 : Débris sur le fond



Photo 3 : Vue du moteur cassé en deux parties

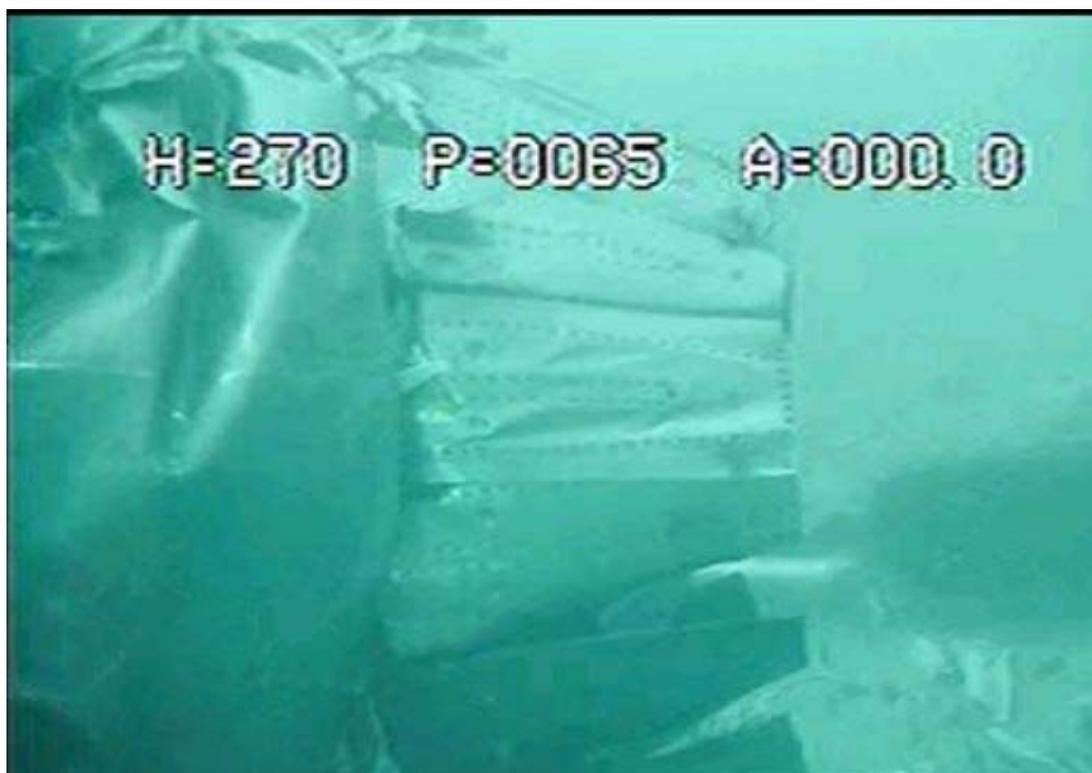


Photo 4 : Vue de la tuyère retrouvée fermée



Photo 5 : Vue d'une partie des fusées du siège éjectable non consommées

L'armée de l'air a fait procéder au nettoyage de la zone par « l'Ailette » de la marine nationale. L'ensemble de ces débris est entreposé sur la base aérienne de Solenzara.

1.10 Renseignements médicaux et pathologiques

1.10.1 Membres d'équipage de conduite

1.10.1.1 Commandant de bord

- Dernier examen médical :
 - ⇒ type : Centre d'expertises médicales du personnel navigant (CEMPN) ;
 - ⇒ date : 24 janvier 2007 ;
 - ⇒ résultat : Apte ;
 - ⇒ validité : 12 mois.
- Examens biologiques : Une expertise médico-légale est réalisée à des fins d'identification de la victime, sans qu'il soit possible d'effectuer d'examens biologiques ;

1.11 Incendie

Non constaté.

1.12 Survie des occupants

Dès l'impact sur la mer, la patrouille présente et témoin de l'événement signale que le pilote ne s'est pas éjecté. Il n'y a pas de parachute à la surface de la mer.

Le pilote est décédé.

1.12.1 Abandon de bord

- Éjection / évacuation en vol : Il n'y a pas eu d'éjection :
 - ⇒ type de siège éjectable : Martin Baker MK10.
- Conséquences : Pilote décédé.

1.12.2 Organisation des secours

Dès l'observation de l'accident, les « Rupin Lima » interrompent immédiatement leur mission et se mettent aussitôt en orbite sur la zone de l'accident en annonçant l'événement sur la fréquence de garde. Ils sont relayés par les « Rupin Juliet » plus au nord qui préviennent la base de Solenzara.

L'alerte recherche et sauvetage (S.A.R) est déclenchée à 11H55.

Simultanément, le centre régional des opérations de secours et de sauvetage (CROSS) alerté par le sémaphore de Pertusato confirme l'information et dépêche sur place un zodiac depuis le port de Bonifacio. Celui-ci arrive sur zone à 12h25 soit 35 mn après l'accident.

Le Puma d'alerte S.A.R décolle à 12h08 de la base de Solenzara. Il arrive sur zone à 12h27.

Les plongeurs sauveteurs font la constatation du décès du pilote.

Par ailleurs, ont participé aux secours, la vedette de la Société nationale de sauvetage en mer (SNSM) avec les gendarmes territoriaux à bord, un hélicoptère de la gendarmerie, l'avis « Commandant Bouan » dérouté par le Commandement en Chef de la Méditerranée (CECMED).

1.13 Essais et recherches

Une expertise médico-légale a été réalisée pour l'identification du pilote.

1.14 Renseignements divers

Il existe dans les CPUT de la Base aérienne 126 de Solenzara quatre plans de vol type basse altitude. Le pilote a activé le plan de vol n°2 qui consiste en un demi-tour de la Corse par le Sud. Cette procédure permet aux pilotes dont la mission initiale est, soit annulée en vol, soit écourtée, d'effectuer une mission complémentaire pour tirer profit de son vol.

2 ANALYSE

Un Mirage 2000 C, dont l'indicatif est : « Rupin Hôtel leader » s'écrase en mer, au Sud de la Corse.

Selon le pilote équipier de la patrouille « Rupin Lima », témoin de l'accident, « Rupin Hôtel leader » s'est abîmé en mer au cours d'un virage serré sur la droite, en basse altitude, après être passé entre les deux Mirage 2000 de sa patrouille.

L'analyse portera sur :

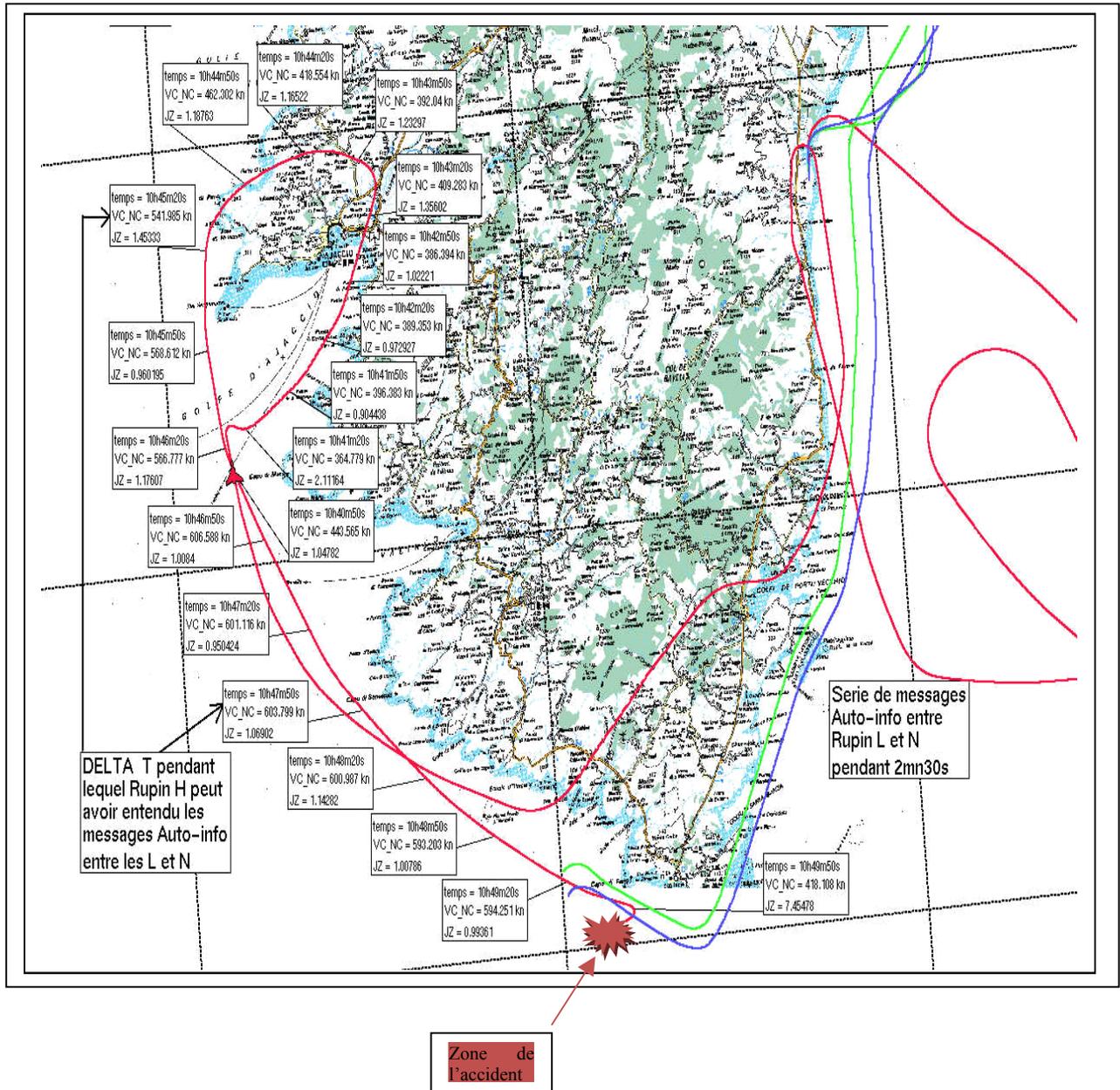
- le dépouillement de l'enregistreur de vol :
 - ⇒ L'étude de la trajectoire ;
 - ⇒ L'étude des paramètres mécaniques ;
 - ⇒ L'étude des paramètres de pilotage.
- Les circonstances environnementales.

2.1 Dépouillement du FDR

Le bon état du FDR et son bon fonctionnement ont permis une interprétation fiable.

2.1.1 Etude de la trajectoire

Les trajectographies synchronisées représentées ci-dessous ont pu être établies précisément par recoupement des données des FDR des trois avions et des annonces radio des « Rupin Lima » extraites de leurs cassettes Hi8.



Trajectographie reconstituée, en rouge Rupin Hôtel Leader, en vert et bleu Rupin Lima

« Rupin Hôtel leader » effectue le trajet prévu par son plan de vol de remplacement, arrivé à Ajaccio, il procède à un demi-tour retour vers le terrain de Solenzara et suit le trajet le long de la côte sud de la Corse. Il se retrouve alors en face de la patrouille « Rupin Lima ».

Il est établi, grâce au dépouillement des communications radio, que « Rupin hôtel leader » est à l'écoute des fréquences radio d'auto information et qu'il est conscient de la présence de « Rupin Lima ».

En rapprochement à environ 600 kt, il réduit trente trois secondes avant le croisement.

La trajectographie reconstituée deux minutes avant l'accident permet d'observer que « Rupin Hôtel leader » manœuvre son avion pour se présenter entre les deux avions de « Rupin lima ».

Une fois passé au centre de la formation des « Rupin Lima », il affiche alors plein gaz et entame son virage serré par la droite afin de se dégager rapidement de la zone.

L'impact a lieu quatorze secondes plus tard.

« Rupin hôtel leader » mène une interception d'opportunité sur « Rupin Lima » puis entame un virage serré par la droite, quatorze secondes avant l'impact sur la mer.

2.1.2 Paramètres techniques

2.1.2.1 Moteur

L'étude de l'ensemble des paramètres enregistrés liés au fonctionnement du moteur montre que l'ensemble propulsif de l'avion a parfaitement fonctionné pendant tout le vol.

L'hypothèse selon laquelle une avarie de l'ensemble propulsif aurait pu causer la perte de l'avion est REJETEE.

2.1.2.2 Commandes de vol

Les paramètres de l'ensemble des chaînes de commandes de profondeur, de gauchissement et de direction sont tous cohérents avec les évolutions de l'avion pendant tout le vol.

On peut dire que toutes les gouvernes répondaient parfaitement aux sollicitations du pilote.

L'hypothèse selon laquelle la perte de l'avion serait due à un dysfonctionnement des commandes de vol est REJETEE.

2.1.3 Paramètres physiologiques

2.1.3.1 Analyse de la variation du facteur de charge

Après le croisement avec la patrouille « Rupin Lima », le pilote installe l'avion en virage par la droite. On constate alors, à la lecture des paramètres, qu'il y a une prise de facteur de charge importante durant les dernières quatorze secondes du vol.

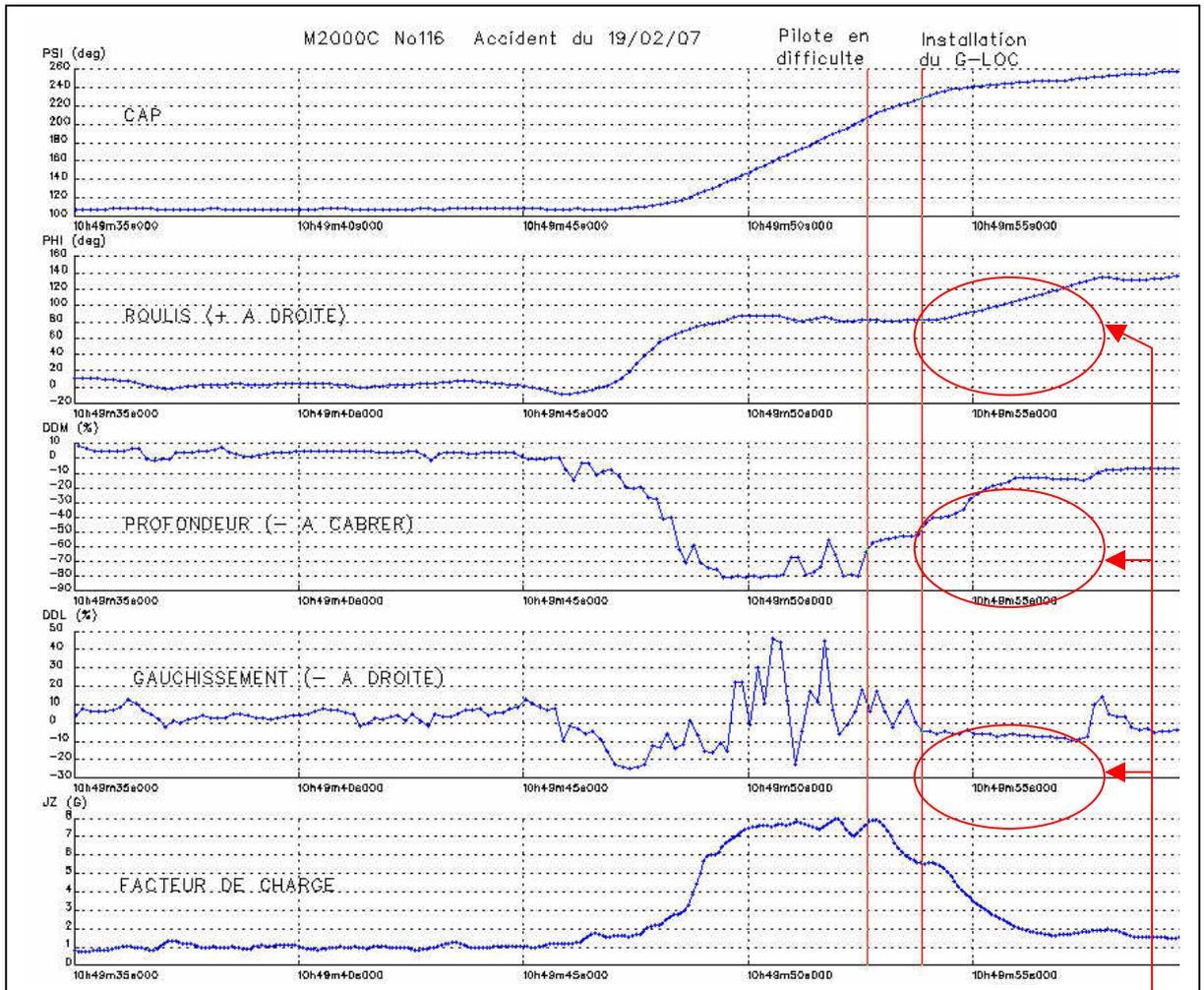
On peut distinguer plusieurs phases distinctes :

- de 14 à 11 secondes avant impact : passage de +1 à +3 Gz⁵ ;
- de 11 à 10,5 secondes avant impact : passage de +3 à +6 Gz sous fort jolt (6Gz/s) ;
- de 10,5 à 9,5 secondes avant impact : passage de +6 à +7,5 Gz ;
- de 9,5 à 6,5 secondes avant impact : stabilisation autour de 7,6 Gz avec deux oscillations entre 7 et 8 Gz ;
- de 6,5 à 3,5 secondes avant impact : décélération du facteur de charge de +8 à +2 Gz on constate un relâchement des commandes de vol ;
- de 3,5 secondes avant l'impact jusqu'à l'impact, l'avion chute rapidement et percute la mer, ³/₄ dos en accélération de 320 vers 370 kt avec une assiette à piquer en augmentation.

Le taux de chute des deux dernières secondes est de 15000 ft/mn. Il n'y a pas d'action volontaire sur les commandes de vol jusqu'à l'impact sur la surface de l'eau et le pilote ne s'éjecte pas. Le virage engagé au départ est une action volontaire du pilote puisque la trajectoire de l'avion est maîtrisée pendant les sept premières secondes de cette manœuvre.

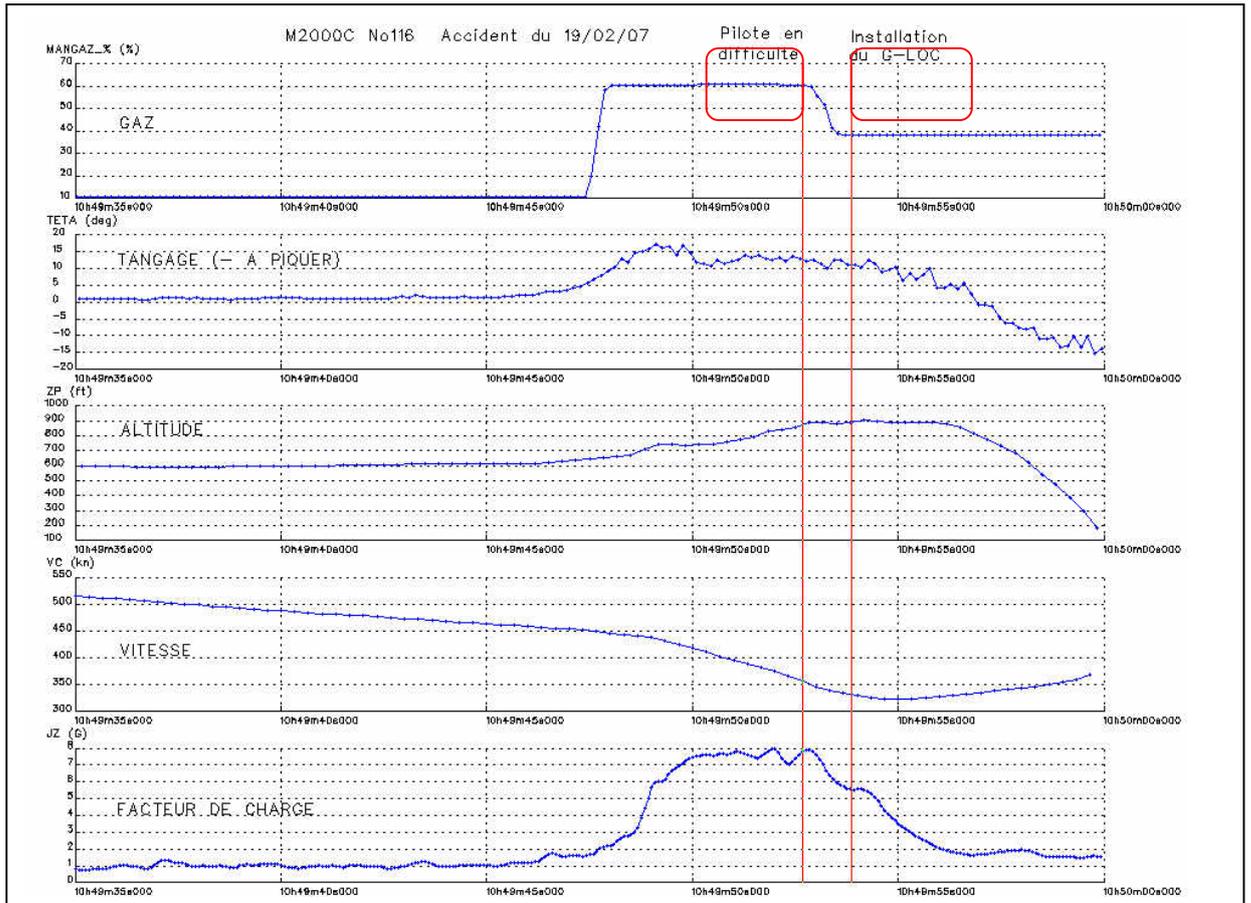
Sept secondes après le début du virage, le pilote ne réagit plus aux commandes.

⁵ Gz : unité d'accélération verticale.



Courbes sans oscillations caractéristiques d'une absence de réaction du pilote

Prise du facteur de charge et position des commandes de vol associées jusqu'à l'impact



Prise du facteur de charge et paramètres de vol associés jusqu'à l'impact

2.1.3.2 Analyse de l'exposition du pilote au facteur de charge d'après l'expertise du Laboratoire de Médecine Aéronautique (LAMAS)

Il s'agit maintenant de comprendre pourquoi le pilote ne réagit plus pendant les six dernières secondes précédant le crash.

L'expertise demandée au LAMAS est fondée sur l'exposition du pilote au facteur de charge à partir du dépouillement du FDR comprenant l'analyse du vol complet.

Sur l'enregistrement total des données disponibles sur le FDR, de 11h05 à 11h50 la seule agression physiologique observée est l'exposition au facteur de charge à deux reprises :

- à 11h41 soit 9 minutes avant l'accident ;
- à 11h50mn soit immédiatement avant l'accident.

Exposition de 10h41

Le niveau maximal de facteur maximal atteint est de 7,5 Gz avec un Jolt maximal de 2,7 Gz/s. Ce profil n'a été suivi d'aucun incident particulier. Il semble donc avoir été parfaitement toléré.

Le niveau d'accélération supporté par le pilote montre que son pantalon anti-G fonctionnait normalement.

Le pilote semble en mesure de supporter des accélérations importantes.

Exposition de 10h50mn

L'analyse qui va suivre s'appuie sur la tolérance circulatoire sanguine selon le modèle de STOLL.

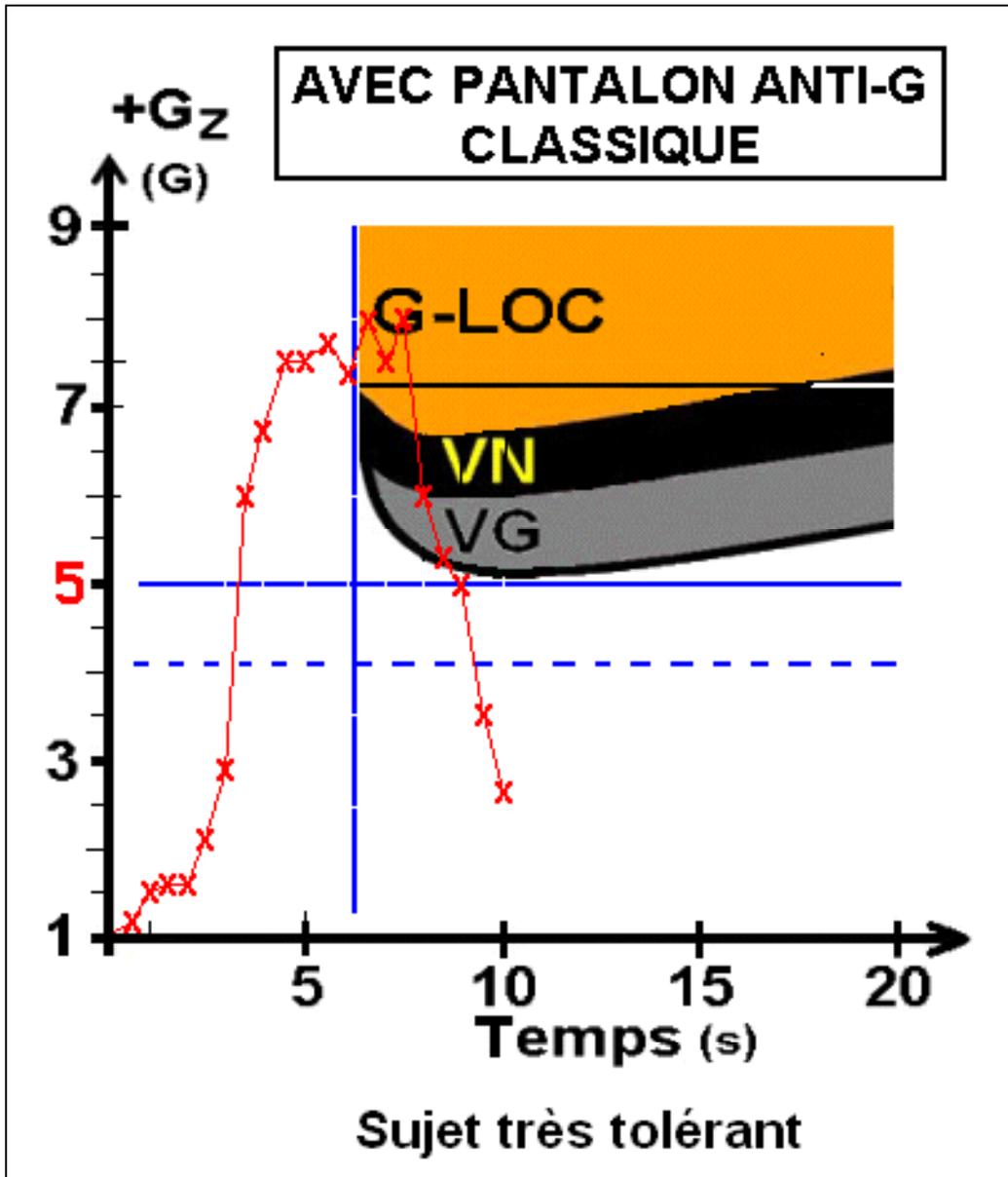
Par superposition de la courbe de facteur de charge en fonction du temps à ce modèle, le profil d'exposition s'inscrit dans le domaine de survenue des pertes de conscience induites par les accélérations sans signe visuel prémonitoire. La causalité est toutefois difficile à établir.

Certains facteurs peuvent favoriser la tolérance aux facteurs de charge :

- tolérance individuelle du pilote au facteur de charge : réputée comme bonne en général pour ce pilote, d'après son médecin PN (variabilité importante possible d'un jour à l'autre) ;
- qualité de fonctionnement de son pantalon anti-G : sûrement correct a priori car la précédente exposition au facteur de charge, 9 minutes avant, aurait alerté le pilote en cas de dysfonctionnement de son équipement anti-G ;
- pratique de manœuvres anti-G volontaires (musculo-respiratoires) : le pilote n'a pas reçu la formation d'initiation aux manœuvres anti-G ; ses seules possibilités, étaient donc de pratiquer une manœuvre instinctive de contraction musculaire.

En outre, certains facteurs peuvent augmenter le risque d'intolérance :

- absence d'échauffement préalable aux accélérations (G- warm up) ;
- l'état de jeûne relatif : pas de repas suffisamment conséquent dans un délai de trois heures avant le vol ;
- fatigue physique.



Superposition de la courbe du facteur de charge subie par le pilote au modèle de STOLL

En outre, le niveau d'intolérance s'inscrit dans le continuum allant du simple A-LOC (*Almost loss Of Consciousness* / quasi perte de conscience) au G-LOC (*G-induced Loss Of Consciousness* / perte de conscience induite par les G). L'observation de ces phénomènes apparaît après une période tampon moyenne de cinq secondes d'exposition (+ ou - 1 sec).

Le A-LOC est caractérisé par une sidération complète avec impossibilité de toute action perceptive et motrice pouvant durer de une à quelques secondes. Généralement le sujet reste complètement immobile et fixe sur son siège, incapable de toute réaction.

Le G-LOC, quant à lui, se caractérise par une perte complète du tonus musculaire qui s'installe en quelques secondes. Dans ce cas, le pilote lâche les commandes de vol pendant une période durant généralement cinq à huit secondes, puis surviennent des secousses musculaires dans la partie supérieure du corps, avec des mouvements rythmiques des bras et de la tête. Cette phase de convulsions dure environ quatre à cinq secondes mais elle n'est présente que dans 70% des cas. Puis survient une phase d'incapacité relative de douze secondes en moyenne, au cours de laquelle le pilote est désorienté et reste incapable d'effectuer une action cohérente et appropriée.

Selon les observations faites sur des sujets en centrifugeuse, il est probable que le G-LOC est un A-LOC qui s'aggrave lorsque le niveau de facteur de charge est maintenu ou augmenté.

Dans l'accident étudié ici, il est noté que le début d'exposition au facteur de charge coïncide avec une double action sur les commandes, à savoir :

- passage de la position de la manette des gaz du ralenti au plein gaz sec ;
- action importante sur le manche en profondeur sur l'arrière jusqu'à -80% du débattement.

L'avion est parfaitement piloté pendant les sept premières secondes qui ont suivi ces actions. Par la suite, le moment où l'action à la profondeur diminue correspond à l'instant précis où la position de la manette des gaz recule légèrement et où le facteur de charge est maximal (8 Gz). A ce moment là, on peut dire que le pilote est en difficulté car il maintient la profondeur secteur arrière entre -50% et -40% pendant un peu moins de deux secondes.

Ensuite, pendant les cinq dernières secondes de vol, les commandes sont totalement relâchées puisqu'il n'y a plus aucune action sur le manche aussi bien en profondeur qu'en gauchissement. **Dans cette phase, la présomption de G-LOC est très forte** même s'il existe un à-coup sur le gauchissement deux secondes avant le crash. Cette observation peut correspondre à un choc d'un des membres inerte du pilote venant heurter cette commande puisque l'avion, en piqué, arrive trois quart dos.

Deux autres éléments plaident en faveur de la survenue d'un G-LOC dans les dernières secondes avant l'accident :

- il est probable que si le pilote n'avait pas perdu conscience, et avait maintenu sa main sur le manche, les dernières secondes auraient été marquées par des mouvements itératifs de grande amplitude sur le manche pour tenter de sortir de la position inusuelle des quatre dernières secondes.
- il n'y a pas eu de tentative d'éjection en finale. En effet, l'examen visuel des fusées du siège éjectable montre qu'elles n'ont pas été consommées. De la même manière, le mécanisme de rappel du harnais du pilote qui doit se déclencher à l'éjection est retrouvé non activé.

Dans les quatorze dernières secondes ayant précédé l'accident,

- **Le pilote a été exposé à un profil de facteur de charge compatible avec l'induction d'un G-LOC, mais le moment de survenue semble avoir été tardif (après la 7^{ème} seconde d'exposition au facteur de charge) ;**
- **L'analyse des positions du manche montre que l'avion n'était plus piloté entre la 6^{ème} et la 4^{ème} seconde avant l'impact, ce qui plaide en faveur d'un G-LOC à partir de ce moment.**

En conséquence, l'hypothèse selon laquelle le pilote a été victime d'un G-LOC est CERTAINE

2.1.4 Absence de réaction du pilote

2.1.4.1 Cas de l'illusion sensorielle

Entre la 6^{ème} et la 4^{ème} seconde avant l'accident, il n'y a aucune réaction du pilote sur les commandes de vol qui sont relâchées. L'avion, parti d'une position sur la tranche en virage avec un léger cabrer, passe trois quart dos avec une assiette à piquer en augmentation.

Dans le cas d'une illusion sensorielle, la réaction habituelle face à la proximité grandissante de la mer, est de faire une manœuvre de survie spontanée, pas forcément cohérente, sous la forme d'une réaction brutale sur les commandes de vol dans les toutes dernières secondes. Dans le présent cas, aucune action du pilote n'est observée.

A cette absence de manœuvre de survie s'ajoute le fait qu'aucune annonce radio n'a été effectuée par le pilote sur les fréquences utilisées précédemment.

En conséquence :

l'hypothèse d'une illusion sensorielle est REJETEE.

2.1.4.2 Cas de la collision volatile

Au cours de cette phase de vol, l'avion se trouve au dessus de la mer à basse altitude, et peut donc avoir été confronté à une collision volatile.

- Toutefois, si au cours de cette phase de virage une collision volatile sur la verrière avait blessé le pilote, il y aurait eu une manœuvre franche de dégauchissement pour remettre les ailes de l'avion à plat ;
- Cependant, si le pilote avait été assommé, la perte de connaissance aurait pu correspondre aux informations du FDR. Il aurait fallu que le choc soit si violent qu'il interdise toute réaction du pilote de façon immédiate et qu'il se produise au moment représentant la fin du pilotage sur l'enregistrement du FDR.
- En conséquence :

la collision volatile est possible, cependant, eu égard aux informations du FDR, la concordance nécessaire des événements dans le temps et dans l'espace ne plaide pas en faveur de cette hypothèse.

Cette hypothèse est donc très peu probable.

2.2 Les circonstances environnementales

2.2.1 *Changement de mission*

La mission de « Rupin Hôtel » au décollage de Solenzara est une mission de combat en un contre un. Elle est annulée au début du vol à cause d'une panne de l'équipier. La mission de remplacement qui consiste en une navigation basse altitude dans le sud de la Corse ne nécessite pas la même combativité ni le même engagement de la part d'un pilote confirmé.

Il est probable que « Rupin Hôtel leader » ait pu ressentir une certaine frustration, ayant pu le conduire à réaliser une interception d'opportunité en basse altitude avec une vitesse élevée.

Le changement de type de mission ne permet pas au pilote d'effectuer la mission de combat pour laquelle il s'était préparé psychologiquement.

2.2.2 *Situation individuelle.*

Le pilote fait preuve de dynamisme et d'enthousiasme quant à l'exécution des missions qui lui sont confiées. Il est sportif et possède une excellente condition physique. Commandant d'escadrille, il est qualifié comme étant « la référence » de l'unité en mission de combat.

Il s'agit du pilote référence au sein de cette unité.

L'enquête a permis d'établir que le pilote a déjeuné le matin de son vol. Il a pris à 7h30, un café, un croissant et un jus d'orange. Il n'a pris aucune collation avant de décoller.

Les rapports médicaux montrent l'influence directe de l'alimentation sur la tolérance au facteur de charge. Le phénomène de « **jeûne relatif** » constitue en effet un danger réel pour le pilote, notamment en fin de demi-journée

Le pilote était en état de jeûne relatif.

2.2.3 Déficit culturel au sein de l'institution

2.2.3.1 Prise en compte du phénomène par l'armée de l'air

L'armée de l'air a, malheureusement, connu au cours de ces dernières années plusieurs évènements liés au phénomène du G-LOC. Ces évènements, précurseurs à l'accident de « Rupin Hôtel Leader » avaient conduit l'armée de l'air à mener une réflexion sur ce sujet.

Elle organise, depuis trois ans, la pratique d'une initiation des personnels navigants aux manœuvres volontaires **anti-G** sous facteur de charge en centrifugeuse. Cette activité est organisée conformément au protocole qu'elle a signé avec le **Centre d'Essais en Vol** et prévoit le passage de 120 **P.N** par an, à raison de quatre lancements de centrifugeuse par personne.

Cependant :

- Le sujet de tolérance au facteur de charge n'est pas abordé dans les **C.P.S.V.**⁶ ;
- L'aptitude physique des futurs pilotes à supporter ou non des accélérations ne fait pas partie des critères de sélection comme c'est le cas au sein d'autres armées de l'air ;
- Les médecins du personnel navigant ne sont pas sollicités pour des stages de rafraîchissement des connaissances en ce qui concerne le **G-LOC**;
- L'évolution des aéronefs vers plus de performance demande des capacités accrues aux équipages sans aucune modification des méthodes de préparation des personnels navigants.

L'armée de l'air n'a pas terminé sa « révolution culturelle » en ce qui concerne la tolérance de ses pilotes aux facteurs de charge

⁶ Consignes permanentes de sécurité des vols.

2.2.3.2 Les unités opérationnelles

L'enquête a montré, chez les pilotes de chasse en unité opérationnelle, une méconnaissance des phénomènes liés aux facteurs de charge.

- Les manœuvres **anti-G** volontaires ne sont pas appliquées par les pilotes, par simple méconnaissance des techniques musculo-respiratoires.
- L'existence du **diagramme de Stoll**, est connue, mais les implications qui en résultent sont méconnues, notamment les particularités liées au port du **pantalon anti-G**.
- L'idée erronée que le bon pilote est résistant aux facteurs de charge est ancrée dans le subconscient collectif.
- La notion d'**A-LOC** est ignorée des personnels navigants.
- Le risque d'atteindre un **G-LOC** sous facteur de charge supérieur à 5 G maintenu plus de quatre secondes n'est pas suffisamment admis.
- La **relativité** des phénomènes de **G-LOC**, selon les individus, la fatigue, le stress, l'alimentation du moment, la vitesse, l'altitude, etc... n'est pas abordée.
- Il existe une tendance des pilotes à s'auto évaluer de façon définitive, « résistant - ou non - au facteur de charge » due à l'absence d'une évaluation initiale permettant à chacun de prendre conscience de ses limites et de la complexité du phénomène.
- La **pratique du sport** : la préparation physique des pilotes n'est pas adaptée de façon spécifique à la résistance aux accélérations.
- L'état de **jeûne relatif** n'est pas connu donc pas surveillé.
- Les défauts d'ajustement des équipements anti-G sont chroniques.
- Les personnels du **CEV/LAMAS** sont très rarement sollicités pour réaliser des formations au sein des unités.

Le déficit de formation sur le sujet au sein des unités opérationnelles est avéré.

3 CONCLUSION

3.1 Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement

- L'endommagement constaté des organes nécessaires au vol est consécutif à l'accident
- Mise en évidence d'une incapacité subite en vol du pilote qui génère une absence de réaction aux commandes alors qu'il est soumis à une accélération depuis plus de 7 secondes.
- Le pilote n'effectue aucune manoeuvre de survie, aucune annonce radio, et il n'y a pas de tentative d'éjection.
- il n'est pas en situation d'illusion sensorielle.
- une collision aviaire reste très peu probable.

3.2 Causes de l'événement

Les conclusions de l'enquête technique sont le résultat de l'analyse systémique des faits recueillis au travers des témoignages, des expertises, et du dépouillement des enregistreurs de paramètres de vol (FDR).

Les causes identifiées de cet événement sont essentiellement liées aux facteurs humains, à la fois individuels et institutionnels.

- Au niveau facteur humain :
 - ⇒ La frustration du pilote liée à l'annulation de la mission de combat initialement prévue qui l'a conduit à réaliser une mission de remplacement sans objectif de combat aérien ;
 - ⇒ Le désir du pilote de réaliser une interception d'opportunité en basse altitude.
- Au niveau physiologique :
 - ⇒ Lors du virage serré, le pilote est confronté à l'installation brusque d'un facteur de charge allant jusqu'à 8 G, sur une durée de huit secondes. Ce **profil d'accélération** correspond à la zone de G-LOC du diagramme de STOLL.

Au niveau organisationnel :

- ⇒ **Le déficit culturel du dispositif de lutte anti-G** au sein de l'armée de l'air qui pénalise les capacités de l'institution et de ses acteurs à identifier le péril lié aux facteurs de charge et à prendre les mesures préventives ;
- ⇒ L'**absence d'information** et de formation des personnels navigants sur les risques liés aux facteurs de charge dans les différents domaines de vol, et la méconnaissance des procédures de lutte anti-G ;
- ⇒ La sollicitation peu fréquente des centres spécialisés (CEV, LAMAS) au début comme au cours de la carrière du pilote de chasse.

4 RECOMMANDATIONS DE SECURITE

4.1 Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement

4.1.1 Formation des pilotes de chasse aux risques liés au facteur de charge.

Les pilotes de chasse ne sont pas sélectionnés au départ sur une aptitude particulière. Ils ne sont pas formés spécifiquement à la gestion des problèmes physiologiques liés aux accélérations verticales. Il n'en demeure pas moins que l'acquisition de cette compétence est une condition nécessaire à la maîtrise des risques en combat rapproché et lors des vols de présentation, quel qu'en soit le type.

Au-delà d'une simple initiation, qui permettrait une sensibilisation salutaire, il s'agirait d'instituer très vite, un programme de formation, qui engloberait l'apprentissage des manœuvres de respiration anti-G, une étude approfondie du diagramme de Stoll et de ses implications pratiques, modélisés avec et sans équipement anti-G, ainsi que le fonctionnement optimal des équipements anti-G.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air, à l'aéronautique navale et à la délégation générale pour l'armement de rendre systématique et récurrente l'initiation aéromédicale dispensée par le CEV/LAMAS au profit de tous les personnels navigants de l'aviation de chasse et de voltige sur les problèmes liés aux accélérations.

4.1.2 Au sein des unités opérationnelles

Actuellement, le suivi sportif des équipages ne prend pas suffisamment en compte le paramètre physiologique du G-LOC. De plus, il n'existe pas de programme de formation au sein des unités qui permette à tous les acteurs de mieux appréhender les problématiques liées aux facteurs de charge, de savoir déceler, voire de traiter les indices précurseurs, chacun à son niveau d'attribution.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air et à l'aéronautique navale :

- ❖ de mettre en place, au sein des unités, une formation systématique aux risques liés aux facteurs de charge, au profit de tous les personnels navigants de l'aviation de chasse et de voltige, avec la participation du médecin P.N, des services des sports et la collaboration des personnels du CEV/LAMAS .**

Cette formation permettrait de rappeler la nécessité de l'échauffement musculaire avant toute confrontation aux accélérations et de la technique des différentes manœuvres.

4.1.3 Importance du paramètre alimentation

Une étude de l'armée de l'air américaine⁷ a démontré que l'alimentation des personnels navigants est un facteur décisif sur leur tolérance aux accélérations. Cette étude détaillée recommande notamment, la prise régulière de repas au cours de la journée avec une grande quantité de sucre lent (pâtes, riz, etc...) et de bannir toute prise de sucre rapide avant un vol (boissons de type soda, barres énergétiques, etc...). Or, cette influence directe des pratiques alimentaires sur les capacités des personnels à résister aux accélérations demeure encore trop méconnue.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air et à l'aéronautique navale :

- ❖ de dispenser dans l'aviation de chasse, en relation avec le service de santé des armées, une information sur la qualité de l'alimentation et les phénomènes liés au jeûne relatif, et leurs impacts sur la tolérance individuelle aux facteurs de charge.**

⁷L'étude de l'armée de l'air américaine « G-AWARENESS FOR AIRCREW » est disponible à l'adresse suivante : <http://afpubs.hq.af.mil>.

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

4.2.1 Étude du potentiel Risque

D'autres nations, comme les Etats-Unis, disposant d'aéronefs très performants, sont aussi confrontées au problème du G-LOC. Ces nations ont réalisé des études sur le phénomène, et ont déterminé des mesures objectives en terme de matériel, de personnel, et de procédures pour limiter les risques encourus par les équipages.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air propose :

à l'armée de l'air :

- ❖ de lancer une étude statistique approfondie du phénomène du G-LOC ;**
- ❖ d'instaurer une discussion de niveau international, afin de comparer les analyses et de profiter des expériences communes sur ce sujet.**

4.2.2 Formation des médecins des bases aux risques liés aux facteurs de charge

L'enquête montre que les médecins P.N, en activité sur les bases aériennes sont insuffisamment informés sur les phénomènes liés aux facteurs de charge.

Ils ne sont donc pas en mesure de participer efficacement à une action préventive sur les risques du G-LOC, au sein des unités aériennes.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de l'air,

- ❖ de poursuivre, en relation avec le service de santé des armées et avec le laboratoire de médecine aérospatiale, le perfectionnement des actions d'instruction sur les risques liés aux facteurs de charge et sur les techniques de lutte anti-G, au profit des médecins des bases ;**
- ❖ de permettre aux médecins du PN de participer à la formation en centrifugeuse dispensée au CEV/LAMAS au cours des stages organisés au profit des forces ;**
- ❖ de réaliser un suivi statistique en collaboration avec le CEMPN.**

à la délégation générale pour l'armement,

- ❖ de développer et d'approfondir les séances de formation dispensées par le LAMAS aux médecins dès leur stage de spécialisation de médecine aéronautique.**

Annexes

Annexe 1 : Traduction clinique du facteur de charge _____ p 49

Annexe 2 : Variabilité de la tolérance aux accélérations _____ p 50

Annexe 3 : Amélioration de la performance grâce aux techniques de protection anti-G __ p 51

5 TRADUCTION CLINIQUE DU FACTEUR DE CHARGE

- **1 Gz** : pesanteur normale ;

- **2 Gz** : compression modérée sur le siège, lourdeur de la tête et des membres ;

- **3 Gz** : sensation d'extrême lourdeur des membres et du corps ;

- **Entre 3 et 4,5 Gz** : voile gris ;

- **Entre 4 et 5,5 Gz** : voile noir ;

- **Entre 4, 5 et 6 Gz** : perte de conscience.

6 VARIABILITE DE LA TOLERANCE AUX ACCELERATIONS

Tolérance aux accélérations (Gz)
 (sujets en état de relâchement musculaire, sans protection anti-G
 - mise en accélération progressive)

	<u>Voile gris</u>	<u>Voile noir</u>	<u>Perte de conscience</u>
Valeurs <u>moyennes</u> :	4,1	4,7	5,4
Écart-type :	0,7	0,8	0,9
Minimum :	2,2	2,7	3,0
Maximum :	7,1	7,8	8,4

*D'après L.B. COCHRAN, P.W. GARD, M.E. NORSWORTHY
 Variations in human G tolerance to positive acceleration
 (31 août 1954)*

7 AMELIORATION DE LA PERFORMANCE GRACE AUX TECHNIQUES DE PROTECTION ANTI-G

Conditions	Tolérance moyenne (G)	Gain de tolérance (G)
Sujets au repos	3,23	
Équipement anti-G	4,25	1,02
Manœuvres	4,93	1,71
Équipement anti-G & Manœuvres	6,22	3,00

D'après COHEN (1983)

Conditions	Gain de tolérance (G)	Gain de tolérance max (G)
Équipement anti-G	Entre 1 G et 1.5 G, si bien ajusté	Jusqu'à 2 G, si très serré
Manœuvres		Jusqu'à 4 G, si manœuvres bien réalisées
Équipement anti-G & Manœuvres		Jusqu'à 6 G

D'après GREEN (2006)

BIBLIOGRAPHIE

1 - L. B. Cochran, P. W. Gard, M. E. Norsworthy (1954)

Variations in human G-tolerance to positive acceleration

USN Sch. Of Av. Med. Rpt. N°001 059.02.10.

2 - N.D.C. Green (2006)

Protection against long-duration acceleration

In Ernsting's Aviation Medicine ; D.J. Rainford, D.P. Gradwell ; Oxford University Press Inc. ; Chapter 9 : 159-167.

3 - A. M. Stoll (1956)

Human tolerance to positive G as determined by the physiological end points

J. Aviat. Med. 27: 356-367.