



Incident de l'avion AIRBUS A330 - 200
immatriculé **F-GZCJ**
exploité par Air France
survenu le 31 décembre 2020
en croisière, FL 380 (Tchad)

Heure	Vers 23 h 35 ¹
Exploitant	Air France
Nature du vol	Transport commercial de passagers
Personne à bord	CDB (PM), copilote ² (PF), copilote suppléant du CDB, 8 membres d'équipage cabine (PNC) et 136 passagers
Conséquences et dommages	Aucun

Fuite de carburant en croisière, déroutement, maintien en fonctionnement des deux moteurs jusqu'au roulage vers le parking.

¹ Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC). Il convient d'y ajouter 1 h pour obtenir l'heure au Tchad le jour de l'événement.

² Au sein d'Air France, un copilote est désigné par Officier pilote de ligne (OPL).

Les enquêtes de sécurité

Le BEA est l'autorité française d'enquêtes de sécurité de l'aviation civile. Ses enquêtes ont pour unique objectif l'amélioration de la sécurité aérienne et ne visent nullement la détermination des fautes ou responsabilités.

Les enquêtes du BEA sont indépendantes, distinctes et sans préjudice de toute action judiciaire ou administrative visant à déterminer des fautes ou des responsabilités.

Table des matières

1.	Renseignements de base.....	- 9 -
1.1	Déroulement du vol.....	- 9 -
1.2	Tués et blessés.....	- 13 -
1.3	Dommages à l'aéronef.....	- 13 -
1.4	Autres dommages.....	- 13 -
1.5	Renseignements sur le personnel.....	- 13 -
1.6	Renseignements sur l'aéronef	- 15 -
1.7	Renseignements météorologiques	- 20 -
1.8	Aides à la navigation.....	- 21 -
1.9	Télécommunications	- 21 -
1.10	Renseignements sur les aéroports	- 22 -
1.11	Enregistreurs de bord	- 23 -
1.12	Renseignements sur l'épave	- 24 -
1.13	Renseignements médicaux et pathologiques	- 24 -
1.14	Incendie	- 24 -
1.15	Questions relatives à la survie des occupants	- 24 -
1.16	Essais et recherches.....	- 24 -
1.17	Renseignements sur les organismes et la gestion	- 28 -
1.18	Renseignements supplémentaires.....	- 32 -
1.19	Techniques d'enquête utiles ou efficaces	- 35 -
2.	Analyse	- 36 -
2.1	Introduction.....	- 36 -
2.2	Origine de la fuite carburant en vol.....	- 37 -
2.3	Absence de coupure du moteur	- 38 -
2.4	Leadership et travail en équipage	- 39 -
2.5	Risque d'incendie lors de l'événement.....	- 40 -
2.6	Perception du risque d'incendie par l'équipage	- 41 -
2.7	Processus décisionnel et déroulement	- 42 -
3.	Conclusions	- 44 -
3.1	Faits établis par l'enquête	- 44 -
3.2	Facteurs contributifs.....	- 45 -
4.	Mesures de sécurité prises depuis l'occurrence	- 47 -
4.1	Mesures de sécurité prises par Airbus	- 47 -
4.2	Mesures de sécurité prises par Air France	- 48 -
5.	Recommandation de sécurité	- 49 -

Glossaire

Acronymes	Version Anglaise	Version Française
A/THR	Auto thrust	Auto-poussée
AD	Airworthiness Directive	Consigne de navigabilité
AESA	European Aviation Safety Agency (EASA)	Agence européenne de la sécurité aérienne
AMC	Acceptable Mean of Compliance	Moyen acceptable de mise en conformité
AMM	Aircraft Maintenance Manuel	Manuel de maintenance de l'avion
AOL	All Operator Letter	
AP	Auto Pilot	Pilote automatique
CAM	Cockpit Aera Microphone	Microphone d'ambiance
CAS	Computed Air Speed	Vitesse conventionnelle
CCO		Centre de Contrôle des Opérations
CCP		Cheffe de cabine principale
CDB		Commandant de bord
CSS		Certificat de sécurité sauvetage
CVR	Cockpit Voice Recorder	Enregistreur phonique
DSAC		Direction de la sécurité de l'Aviation civile
EBT	Evidence Based Training	Formation basée sur des données probantes
ECAM	Electronic Centralized Aircraft Monitoring	Moniteur électronique centralisé de bord
FCMC	Fuel control and monitoring computer	Calculateur de contrôle et de gestion du carburant
FCOM	Flight Crew Operating Manual	Manuel d'exploitation des équipages
FCTM	Flight Crew Techniques Manual	Manuel de techniques opérationnelles
FDM	Flight Data Monitoring	Surveillance des données de vol
FDR	Flight Data Recorder	Enregistreur de paramètres
FFS	Full Flight Simulator	
FL	Flight Level	Niveau de vol
FLD	Factored Landing Distance	Distance nécessaire à l'atterrissement dans les conditions du jour
FMS	Flight Management System	Système de gestion du vol
FORDEC	Facts, Options, Risks and benefits, Decision, Execution, Control	Faits, options, risques et bénéfices, décision, exécution, contrôle
HMU	Hydro Mechanical Unit	
HP	High Pressure	Haute pression
IATA	International Air Transport Association	Association internationale du transport aérien

Acronymes	Version Anglaise	Version Française
ILS	Instrument Landing System	Système d'atterrissement aux instruments
IPC	Illustrated Part catalogue	
LOSA	Line Operations Safety Audit	
LP	Low Pressure	Basse pression
MEC	Main Engine Control	Unité de contrôle moteur
ND	Navigation Display	Écran de navigation
NOTAM	NOTice To AirMen	Avis aux navigants aériens
NTSB	National Transportation Safety Board	Organisme d'enquête de sécurité des États-Unis
OACI	International Civil Aviation Organization (ICAO)	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OCV		Organisme de Contrôle en Vol
OPL		Officier Pilote de Ligne
P/N	Part Number	Numéro de série
PAPI	Precision Approach Path Indicator	Indicateur de pente d'approche
PF	Pilot Flying	Pilote aux commandes
PHR	Trimmable Horizontal Stabilizer (THS)	Plan Horizontal Réglable
PNC		Personnel Navigant Commercial
PM	Pilot Monitoring	
PPL	Private Pilot Licence	Licence de pilote privé
QFU		Orientation magnétique de la piste
QNH		Calage altimétrique requis pour lire une altitude
QRH	Quick Reference Handbook	
QT	Type Rating (TR)	Qualification de type
RA		Radio- altimètre
RNAV	aRea NAVigation	Navigation de surface
RNP	Required Navigation Performance	Performance de navigation requise
ROPS	Runway Overrun Prevention System	
ROW	Runway Overrun Warning	
SFI	Synthetic Flight Instructor	Instructeur sur simulateur de vol
SOP	Standard Operating Procedures	Procédures standards d'exploitation
SPIB	Spare Parts Introduction Bulletin	Bulletin spécial
TAF	Terminal Area Forecast	Prévision d'aérodrome
TEM	Threat and Error Management	
TOGA	Take-Off Go-Around	Poussée décollage / Remise des gaz

Acronymes	Version Anglaise	Version Française
UTC	Universal Time Coordinated	Temps universel coordonné
VAPP		Vitesse d'approche
VMO	Maximum Operating Velocity	Vitesse maximale en opération

Synopsis

L'Airbus A330 exploité par Air France effectue le 31 décembre 2020 le vol régulier AF735V entre Brazzaville (Congo) et Paris-Charles de Gaulle (France). Le décollage a lieu à 21 h 13.

En atteignant le FL 380, niveau de croisière, l'équipage détecte qu'il manque environ 1,4 tonne de carburant dans les réservoirs. Il surveille l'évolution des quantités carburant. Le commandant de bord quitte le poste de pilotage pour son tour de repos quelques minutes plus tard en demandant aux copilotes de surveiller l'évolution des quantités carburant. Environ vingt minutes plus tard, les copilotes le rappellent car il manque alors environ 2,1 tonnes de carburant.

L'équipage débute la procédure FUEL LEAK puis l'interrompt à la ligne qui prévoit la coupure du moteur du côté de la fuite suspectée (ici côté gauche), en choisissant de maintenir ce dernier en fonctionnement. L'équipage se déroute sur l'aéroport de N'Djamena (Tchad) où il effectue une approche RNAV en piste 23 et y atterrit 1 h 47 après l'identification de la fuite. L'alarme ROPS, avertisseur d'un risque de sortie de piste, s'active au moment du toucher des roues. Le PF freine fortement et la température des freins augmente jusqu'à 600 °C.

Les deux moteurs sont maintenus en fonctionnement. L'équipage réalise un demi-tour sur la raquette en bout de piste, puis coupe le moteur 1 (moteur gauche) alors qu'il roule vers le parking. L'équipage immobilise l'avion sur les aires de parking et coupe le moteur 2³. Les pompiers qui s'étaient positionnés à proximité de l'avion depuis l'atterrissement interviennent après la coupure du moteur 2 en dispersant de l'eau sous le moteur 1. Les passagers sont débarqués sans autre incident. Le vol a duré 2 h 21, et la perte de carburant entre le décollage et la coupure du moteur 2 au parking a été estimée à environ 5,7 t dont 5,3 t en vol.

Un examen du moteur 1 a révélé que la fuite de carburant se situait au niveau de la bride supérieure de la tuyauterie principale de carburant qui assure l'interface entre le mât et le moteur.

Le BEA a émis une recommandation de sécurité concernant le respect des procédures par l'exploitant.

³ La coupure est effectuée environ dix minutes après celle du moteur 1.

Organisation de l'enquête

Le 1^{er} janvier 2021, le BEA a été informé du déroutement du F-GZCJ, la veille, sur l'aéroport de N'Djamena (Tchad).

Sur la base des premiers éléments factuels disponibles et en application des dispositions de l'Annexe 13 de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), une demande de délégation d'enquête a été émise auprès du Ministère de l'Aviation Civile et de la Météorologie Nationale de la République du Tchad (État d'occurrence). Elle a été acceptée par cette dernière le 12 janvier 2021.

Air France et Airbus ont nommé des conseillers techniques auprès du BEA. L'organisme d'enquête de sécurité des États-Unis (NTSB) a nommé un Représentant Accrédité (Accrep) ; il a été assisté par ses conseillers techniques chez GE aviation et Collins Aerospace. La République du Tchad a nommé un Accrep.

1 RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

Note : Les informations suivantes sont principalement issues des enregistreurs de vol CVR et FDR, des témoignages et des enregistrements vidéo à l'arrivée de l'avion sur l'aéroport de N'Djamena.

Le 31 décembre 2020, l'équipage décolle à 21 h 13 de l'aéroport de Brazzaville, République du Congo (voir Figure 1, point ①), à destination de Paris-Charles de Gaulle. La quantité totale de carburant à bord est de 45,5 t. L'équipage est constitué d'un commandant de bord (CDB), d'un copilote, d'un copilote suppléant⁴ et de huit personnels navigants commerciaux (PNC). Au décollage, le CDB est PM, le copilote est PF, et le copilote de renfort est assis sur le siège observateur du poste de pilotage. Il y a 136 passagers à bord. Parmi eux figurent deux techniciens de maintenance de la compagnie, qualifiés sur A330. Le décollage et la montée s'effectuent sans particularité.

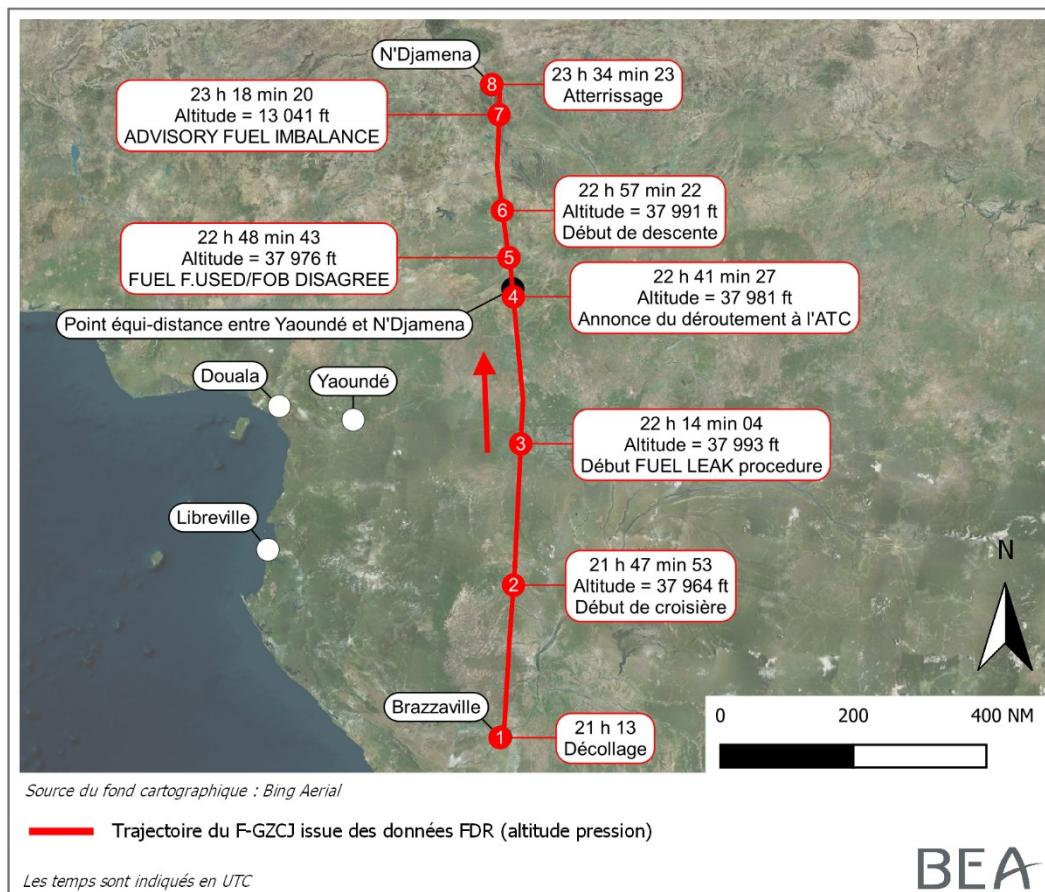


Figure 1 : Trajectoire du F-GZCJ

Trente-cinq minutes après le décollage, au début de la croisière au FL 380, les premières vérifications sont effectuées (voir Figure 1, point ②). Le CDB remarque qu'il manque 1,4 tonne de carburant, sans déséquilibre latéral visible entre les réservoirs. Il impute cette différence aux transferts de carburant en cours depuis les réservoirs intérieurs des ailes vers le réservoir de trim.

⁴ Également appelé copilote de renfort

Il partage cette information avec les copilotes et quitte le poste pour son tour de repos quelques minutes plus tard en demandant aux deux copilotes de surveiller l'évolution du carburant.

Environ vingt minutes après le départ du CDB, les copilotes le rappellent. Il manque alors environ 2,1 tonnes de carburant avec un déséquilibre d'environ 400 kg entre les deux réservoirs intérieurs, ce qui laisse suspecter une fuite sur le côté gauche, côté moteur 1.

À 22 h 14 (voir Figure 1, point ③), l'équipage commence la procédure FUEL LEAK du QRH. L'avion est alors à 250 NM à l'est de l'aéroport de Yaoundé (Cameroun) et à 520 NM au sud de celui de N'Djamena. Les deux aéroports sont accessibles. La procédure indique que le déroutement doit être envisagé « dès que possible »⁵ et demande de couper le moteur associé au réservoir où il manque du carburant, ce qui permet de vérifier si la fuite provient de ce dernier.

À 22 h 16, le CDB exprime son hésitation à couper le moteur « *Alors il faut carrément couper le moteur (...) là ça commence à être gros* ». L'équipage identifie Yaoundé sur la gauche de la trajectoire prévue. Le CDB repousse la coupure du moteur le temps de réévaluer la quantité de carburant réellement perdue.

À 22 h 20, l'équipage actualise les conditions météorologiques sur les aéroports de N'Djamena, Libreville (Gabon) et Yaoundé, et envisage le déroutement sur Yaoundé⁶.

Le copilote de renfort et les techniciens de maintenance présents à bord tentent de confirmer la fuite de carburant par observation visuelle du moteur gauche, mais sans succès, du fait de la faible visibilité nocturne.

À partir de 22 h 26, l'équipage conduit un processus décisionnel par la méthode « FORDEC⁷ ». Le CDB indique « *au niveau des faits ...on est face à une fuite de carburant* ». Il analyse ensuite les options et risques : « *on a encore pas mal de carburant, on peut voler un certain temps même sur un seul moteur* ». Il ajoute que « *le risque c'est qu'on va se retrouver sur un seul moteur et qu'il va falloir se dérouter* ».

À 22 h 30, l'équipage envisage alors de poursuivre le vol sur N'Djamena qui est considéré plus « *accueillant* ». Néanmoins, il continue de s'interroger sur un déroutement à Yaoundé, plus proche. Le CDB ajoute que le processus décisionnel (FORDEC) n'est pas terminé et qu'ils ont assez de carburant pour aller jusqu'à N'Djamena « *Il nous restera... de toute façon douze tonnes... quinze tonnes... plus éventuellement l'arrière... on a le temps d'aller jusqu'à N'Djamena* ». Il exprime ensuite une forme de réticence à couper le moteur « *après, on va se retrouver sur un seul moteur... c'est pas non plus une situation super sympa* ».

À 22 h 32, l'équipage contacte le Centre de Contrôle des Opérations (CCO). Lors de l'appel, le CDB indique qu'en raison d'une fuite de carburant, l'équipage hésite entre un déroutement à Yaoundé ou à N'Djamena et suggère que N'Djamena est peut-être plus adéquat d'un point de vue opérationnel. Lors de l'échange, le copilote exprime également sa préférence pour N'Djamena. Le CCO indique alors qu'il met l'avion en relation avec le « secteur manager » qui confirme un peu plus tard : « *à N'Djamena, y'a pas de problème* ».

⁵ Les extraits de la transcription du CVR sont en italique.

⁶ Terrain de déroutement prévu au plan de vol.

⁷ Méthode de construction de la décision utilisée par les équipages chez Air France (voir § 1.17.3).

À 22 h 33, le CDB revient sur la procédure FUEL LEAK et indique ensuite aux copilotes que « *de toute façon il faudrait qu'on se déroute, ...on a perdu trop de carburant maintenant pour envisager d'aller à Paris* ».

À 22 h 37, Le CDB informe la cheffe de cabine principale (CCP) de la situation en précisant qu'ils sont obligés de se dérouter sur N'Djamena. Il ajoute qu'une préparation cabine ne sera pas nécessaire, la situation étant maîtrisée et que l'équipage essaiera de maintenir les deux moteurs en fonctionnement jusqu'à l'atterrissement.

À 22 h 39, le CDB propose de garder le moteur 1 le plus longtemps possible et de n'envisager de le couper que lorsque la quantité de carburant restante dans le réservoir associé approchera cinq tonnes afin d'éviter que le moteur ne s'éteigne spontanément.

À 22 h 40, le CDB termine le FORDEC et s'adresse aux copilotes qui confirment la décision du déroutement sur N'Djamena. La décision de dérouter sur N'Djamena est alors formalisée.

À 22 h 43, le CDB informe le contrôle de N'Djamena du déroutement et s'annonce en situation de détresse par un message MAYDAY (voir Figure 1, point ④).

L'alerte **FUEL F. USED/FOB DISAGREE** apparaît sur le moniteur électronique centralisé de bord (ECAM) à 22 h 48 (voir Figure 1, point ⑤). Celle-ci renvoie à la procédure FUEL LEAK. Le CDB efface la page ECAM et en l'absence de STATUS, considère l'alerte traitée. Le copilote suppléant demande alors de se mettre d'accord sur le moment où le moteur sera coupé. Le CDB indique qu'il préfère maintenir le moteur en fonctionnement tant qu'il reste du carburant disponible.

À 22 h 52, l'équipage calcule les performances d'atterrissement pour la piste 05 à N'Djamena. Le copilote de renfort rappelle alors qu'il ne faudra pas sortir les inverseurs de poussée⁸.

Lors de la descente, le contrôleur les informe alors que l'ILS 05 n'est pas en service. Le CDB demande au contrôleur de confirmer cette information puis l'équipage modifie la route insérée dans le système de gestion du vol (FMS) pour réaliser une approche de type RNP sur la piste 05. Quelques minutes plus tard, le copilote suppléant lit les NOTAM et confirme l'information fournie. Il précise qu'il y a également un seuil décalé en piste 05 (longueur de piste disponible de 2 410 m) qui reste compatible avec la distance d'atterrissement nécessaire. L'équipage contacte le contrôleur qui confirme le seuil décalé et qui annonce une longueur de 2 410 m disponible. Le copilote suppléant explique que l'approche RNP 05 risque de les amener au seuil 05 habituel, et non au seuil décalé, et qu'il vaut mieux effectuer l'approche RNP 23. Cette proposition est retenue. Le CDB indique pour sa part qu'il risque d'y avoir du vent arrière en finale 23 et aborde le roulage « *roulage parking (*) en revanche très clairement on libérera la piste on coupera le moteur* »

À 23 h 07, l'un des deux techniciens informe l'équipage qu'une traînée est maintenant visible sous le capot de la tuyère du moteur 1. Le CDB indique que cette information ne change pas leur plan d'action et demande de débuter le briefing arrivée.

À la fin de celui-ci, l'équipage réfléchit sur les menaces liées à l'approche (TEM). Le copilote verbalise alors son appréciation de la menace qui est « *... que cela prenne feu au sol* ».

⁸ Également appelés reverses.

Le CDB répond que « *la première menace c'est qu'on soit obligé de couper le moteur avant qu'on soit posé, auquel cas il n'est pas impossible que tu sois obligé d'aller holder quelque part en cas de remise des gaz* ». Il indique alors que la décision sur le moment de la coupure appartient au copilote, qu'il peut également couper le moteur avant d'effectuer l'approche finale. Le CDB conclut en indiquant qu'ils gardent le moteur en fonctionnement car les quantités de carburant restantes sont suffisantes pour éviter une extinction du moteur.

Le copilote suppléant rappelle que contrairement à l'habitude, les reverses ne doivent pas être sorties. Le copilote indique qu'il souhaite qu'on le lui rappelle au moment de l'atterrissage. Le CDB indique alors « *au pire, tu fais reverse idle* ». Le copilote suppléant répond alors « *en théorie c'est même pas de reverse* ». Le CDB confirme.

À 23 h 18 l'alerte advisory **FUEL IMBALANCE** se déclenche (voir Figure 1, point 7), elle renvoie à la procédure FUEL LEAK, laquelle implique de couper le moteur concerné. Le CDB s'interroge sur le danger à garder le moteur en fonctionnement et conclut que « *Ce n'est pas écrit dans la check qu'il faut impérativement le couper⁹... il n'y a pas de notion de possibilité de feu* ». Le copilote suppléant intervient alors « *je pense que l'idée de couper, ce n'est quand même pas une mauvaise idée... autant c'est bien de le garder pour l'instant, parce qu'on est en l'air et qu'il n'a pas d'urgence... une fois au sol...* »

Le CDB indique son intention de couper le moteur au sol avant le demi-tour en bout de piste. Le copilote suppléant confirme qu'ils risquent de déverser du carburant sur la piste.

Le copilote répond qu'il peut couper le moteur après le demi-tour. Le CDB conclut alors que la décision de couper le moteur, avant ou après le demi-tour, dépendra des informations que leur fourniront les pompiers.

À 23 h 22, le CDB évoque le risque de freins chauds à proximité du carburant en cas de freinage excessif au regard de la longueur de piste et demande au copilote de moduler le freinage. L'équipage effectue alors la check-list approche.

À 23 h 28, l'avion est autorisé à l'approche RNP 23. À 3 000 ft en finale, l'avion est configuré pour l'atterrissage, puis la check-list atterrissage est effectuée.

Lors de la finale, l'équipage est préoccupé par l'importance du vent arrière. Le CDB mentionne un vent arrière de 32 kt et évoque l'éventualité d'une remise des gaz. À une hauteur radiosonde de 500 ft, la vitesse conventionnelle (CAS) augmente à 147 kt, et le vent arrière, en diminution, est de 21 kt. Le pilote automatique (AP) est déconnecté.

À 23 h 34 (voir Figure 1, point 8), le CDB fait référence au vent arrière et indique qu'il est dorénavant inférieur à 10 kt. L'avion atterrit 550 m après le seuil 23 à la vitesse de 150 kt (VAPP+8).

Sept secondes après le toucher des roues, l'alarme visuelle et sonore **BRAKE MAX BRAKING MAX BRAKING** se déclenche et, conformément au briefing, les reverses ne sont pas déployées. Le PF appuie au maximum sur les pédales de freins. Les températures des freins augmentent et l'alerte **BRAKES HOT** se déclenche. Pendant le roulement à l'atterrissage, du carburant se déverse sur la piste.

⁹ La procédure FUEL LEAK prévoit la coupure du moteur du côté de la fuite (voir § 1.6.6)

Le copilote suppléant demande si la coupure du moteur est alors envisagée. Le CDB répond que le moteur sera coupé après le demi-tour effectué dans le sens prévu par la raquette, moteur gauche à l'extérieur du virage. Pendant le virage, une poussée plus importante (environ 40 % de N1¹⁰) est alors appliquée sur le moteur 1, siège de la fuite.

Après le demi-tour, à 23 h 37, l'équipage coupe le moteur 1. Le contrôleur informe l'équipage que les pompiers, positionnés aux abords de la piste, n'ont pas vu de trace de carburant sur la piste alors que des quantités importantes coulent du drain et de la nacelle sous le moteur 1¹¹. L'avion rejoint le parking puis s'immobilise. L'équipage s'inquiète de la température élevée des freins au regard de la fuite carburant. Le moteur 2 est coupé dix minutes après le moteur 1, après avoir attendu confirmation de l'emplacement de parking. Un pompier commence à déverser de l'eau sous le moteur 1. Une fois l'avion sécurisé, les passagers débarquent.

À l'arrivée, la comparaison entre les valeurs de carburant consommé et restant indique une fuite de carburant de 5,3 t en vol et de 5,7 t jusqu'à la coupure du moteur 2 au parking.

1.2 Tués et blessés

Néant.

1.3 Dommages à l'aéronef

Néant.

1.4 Autres dommages

Néant.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Équipage de conduite

	Commandant de bord (PM)	Copilote en fonction (PF)	Copilote de renfort
	Homme, 54 ans	Homme, 53 ans	Homme, 54 ans
Licence ATPL délivrée le	01/06/2005	04/02/2019	12/04/2005
Qualification de type (QT) A330	07/09/2006 puis 29/07/2020	14/02/2020	09/12/2019
QT valable jusqu'au	31/07/2021	31/03/2021	31/12/2020
Aptitude médicale Classe 1 valable jusqu'au	16/10/2021	28/09/2021	28/08/2021

¹⁰ Vitesse de rotation du compresseur et de la turbine basse pression.

¹¹ Comme l'indique l'équipage dans son témoignage et dans ses propos enregistrés sur le CVR.

	Commandant de bord	Copilote en fonction	Copilote de renfort
Expérience totale	12 399 heures de vol dont 1 077 en tant que CDB	5 656 heures de vol	4 800 heures de vol
Expérience sur type	3 852 h dont 80 en tant que CDB	550 h	803 h
Expérience dans les derniers 90 jours	90 h	105 h	139 h
Expérience dans les derniers 30 jours	33 h	41 h	59 h
Expérience dans les dernières 72 heures	14 h	14 h	14 h
Entraînement Procédure FUEL LEAK	20/07/2020 lors de la FFS 08 de la QT A330	02/02/2017 lors de la FFS 07 de la QT A320	25/11/2016 lors de la FFS 05 de la QT A320

Expérience professionnelle

Le CDB est entré à Air France en 2002 après une carrière de pilote militaire. Sa transition CDB moyen-courrier a été effectuée sur B737 chez Transavia où il a volé quatre ans. Il avait terminé son adaptation en ligne sur A330 en février 2020.

Le copilote est entré à Air France en décembre 2016, après une carrière militaire, puis d'ingénieur. Le copilote suppléant est entré à Air France en octobre 2016 après une carrière de pilote militaire et une expérience d'instructeur sur simulateur de vol (SFI) chez Airbus, notamment sur A330.

1.5.2 Cheffe de cabine principale (CCP)

	Cheffe de cabine principale
	Femme, 57 ans
Certificat de sécurité sauvetage (CSS) délivré le	25/01/1988
QT A330 délivrée le	10/10/2001
QT valable jusqu'au	30/11/2021
Aptitude médicale valable jusqu'au	30/06/2021

Entrée à Air France en mai 1988 en tant que PNC, elle est devenue CCP en 2019. Elle est qualifiée sur A330, B777, B787, A350. Son expérience totale est de 16 400 heures de vol.

1.5.3 Formation des équipages aux fuites de carburant

Les membres d'équipage du F-GZCJ avaient été entraînés à la procédure FUEL LEAK au simulateur lors des séances de QT A320 et A330.

Lors de la séance de simulateur, la panne FUEL LEAK est déclenchée au cours d'un vol dont le scénario est connu des équipages par avance. La procédure est revue lors du briefing avant la séance. Il n'existe aucun effet de surprise, ni complexité opérationnelle dans les scénarios d'entraînement, la QT ayant pour objectif d'entraîner les équipages aux procédures.

Les entraînements souffrent de limitations techniques inhérentes aux outils de simulation parmi lesquelles l'impossibilité de simuler une fuite réaliste au cours d'un transfert de carburant vers le PHR.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

1.6.1 Cellule

Constructeur	AIRBUS		
Type	A330 - 203		
Numéro de série	503		
Immatriculation	F-GZCJ		
Mise en service	22/11/2002		
Certificat de navigabilité	122418	Du 08/09/2008	
Certificat d'examen de navigabilité	2020/122418	Du 26/07/2021	Au 21/08/2022
Utilisation au 30/09/2020	71 831 heures de vol / 11 385 cycles de vol		
Propriétaire	ILFC		
Exploitant	Air France		

1.6.2 Moteurs et APU

	Moteur 1	Moteur 2
Constructeurs	General Electric (GE)	Sans objet
Type	CF6-80E1A3	
Numéro de série	811159	
Date de production	29 janvier 2002	
Date d'installation	24 janvier 2019	
Temps total (cycles) de fonctionnement à la date de l'installation	58 333 h (9 056)	
Temps total (cycles) de fonctionnement depuis la dernière visite	4 691 h (771)	
Temps total (cycles) de fonctionnement au 31 décembre 2020	63 024 h (9827)	

1.6.3 Carnet de route

Néant.

1.6.4 Masse et centrage

La masse et le centrage étaient dans les limites prévues au manuel de vol.

À l'atterrissement, le centrage de l'avion était en limite arrière. L'équipage avait isolé le réservoir de trim au début de la procédure FUEL LEAK mais avait omis de l'ouvrir à nouveau ; il n'avait pas terminé la procédure.

1.6.5 Système carburant de l'A330

L'Airbus A330 possède deux réservoirs de carburant dans chaque aile (intérieur et extérieur), un réservoir central ainsi qu'un réservoir de trim, situé à l'arrière. Chaque moteur est alimenté à partir du réservoir intérieur respectif.

Une vanne de basse pression (LP) permet d'isoler le moteur correspondant de l'alimentation en carburant. Un système d'alimentation croisée permet d'alimenter n'importe quel moteur à partir du réservoir opposé. Ce système est également utilisé par l'équipage de conduite pour corriger un déséquilibre de carburant entre les réservoirs intérieurs.

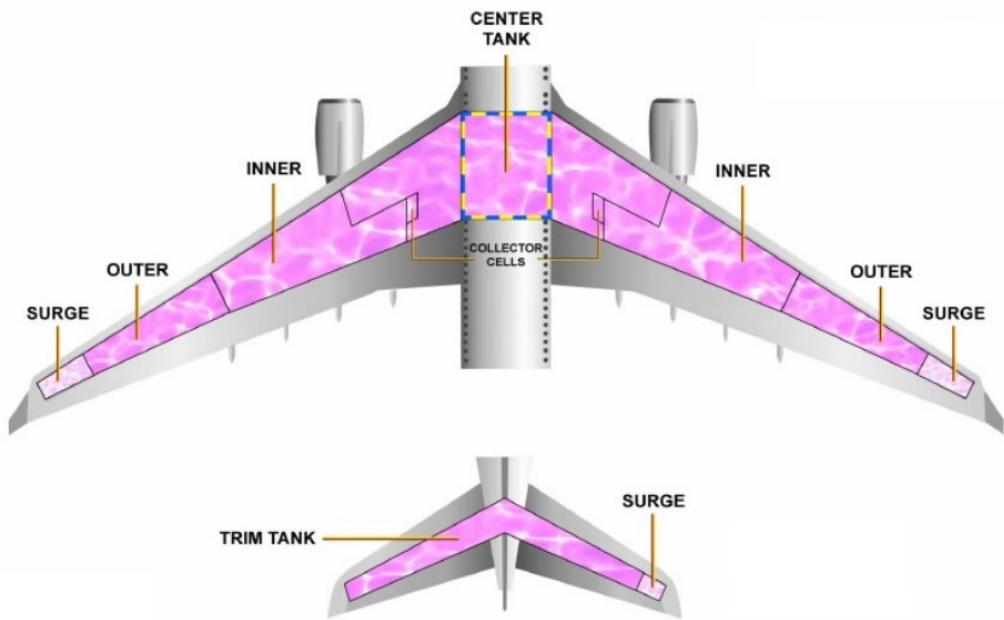


Figure 2 : Position des réservoirs de carburant de l'A330-200
 (Source : Airbus)

En vol, des transferts de carburant sont effectués entre les réservoirs des ailes et de trim afin d'optimiser la position du centre de gravité, en fonction de la masse totale de l'avion.

En particulier, le calculateur de contrôle et de gestion du carburant (FCMC) déclenche automatiquement un transfert de carburant des réservoirs intérieurs vers le réservoir de trim quand l'avion passe le FL 255 en montée et que le centrage n'est pas à la cible. Si durant le transfert, il existe un déséquilibre supérieur à 500 kg entre les réservoirs intérieurs, le transfert se fait uniquement depuis le réservoir intérieur le plus plein vers le réservoir de trim, et jusqu'à ce que l'équilibrage soit réalisé.

La quantité de carburant de chaque réservoir est mesurée par des jaugeurs et affichée à l'équipage sur la page FUEL de l'ECAM. En croisière, dans les conditions du vol de l'événement, la quantité de carburant était donnée avec une précision calculée d'environ 700 kg. Cette dernière est notamment fonction de la quantité totale de carburant.

En cas de différence de plus de 3,5 t entre le carburant consommé et celui disponible dans les réservoirs, l'alerte **FUEL FUSED/FOB DISAGREE** apparaît à l'ECAM et renvoie directement à la procédure FUEL LEAK (voir § 1.6.6).

En cas de dissymétrie de plus de trois tonnes entre les réservoirs gauche et droit, la page système FUEL sur laquelle apparaît l'alerte **ADVISORY FUEL** qui clignote en vert, s'affiche automatiquement. Sur cette page FUEL, les quantités dans les réservoirs intérieurs et extérieurs sont indiquées. Elle renvoie vers la procédure FUEL LEAK.

L'ENGINE MASTER SWITCH situé sous la manette de poussée du moteur actionne simultanément les vannes carburant LP et HP (haute pression). La vanne LP est située avant la sortie du réservoir carburant et sa fermeture permet de stopper la circulation de carburant en amont de l'unité hydro-mécanique (HMU). Le positionnement de l'ENGINE MASTER SWITCH sur OFF, mentionné dans la procédure FUEL LEAK, permet d'arrêter l'alimentation en carburant vers le moteur.

Alimentation du moteur en carburant

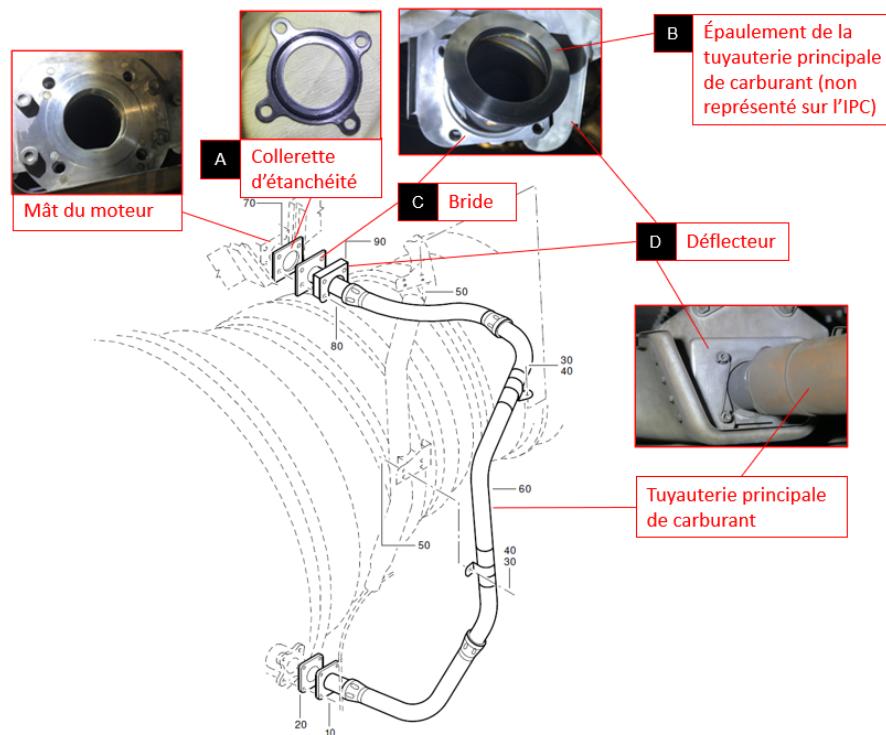


Figure 3 : Vue IPC de la tuyauterie principale de carburant et nomenclature des éléments de montage de la bride supérieure

(Source : Airbus IPC Figure 73-11-46-20 / annotations BEA)

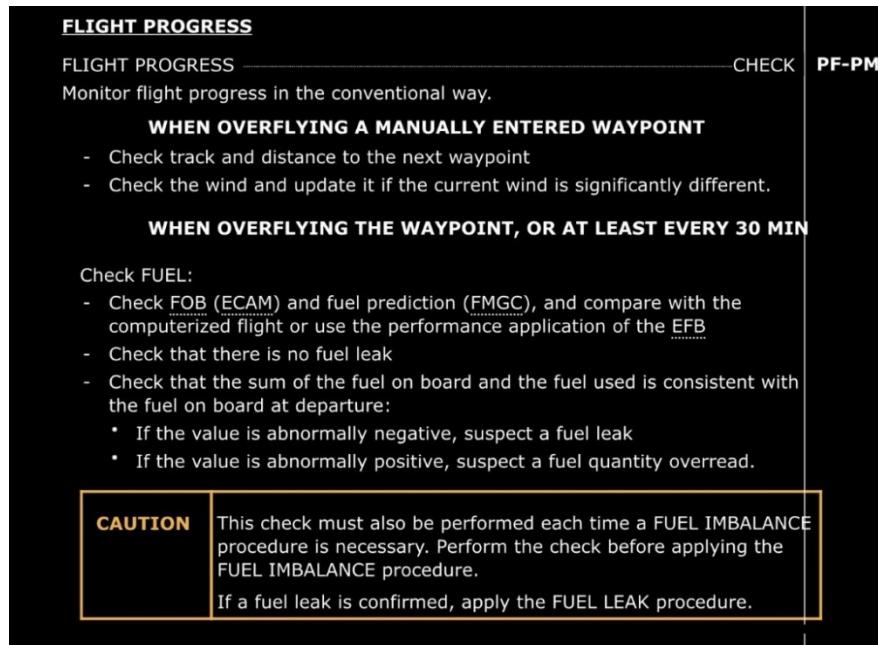
Le montage de la bride supérieure de la tuyauterie principale sur le mât moteur consiste en l'assemblage superposé des éléments suivants :

- A - collerette d'étanchéité munie d'un joint torique sur chaque face ;
- B - épaulement de la tuyauterie principale de carburant ;
- C - bride ;
- D - déflecteur qui assure une protection contre les projections de carburant en cas de fuite à cette interface.

1.6.6 Procédures opérationnelles

1.6.6.1 Vérifications en croisière

Il est attendu des équipages que des vérifications des quantités de carburant à bord soient effectuées au passage des points de navigation, ou au moins toutes les 30 minutes. En cas de suspicion de fuite, les équipages doivent se référer à la procédure FUEL LEAK du QRH¹²:



*Figure 4 : FCOM A330 Procédures normales
(source : Air France)*

1.6.6.2 Procédure FUEL LEAK

Contrairement aux pannes franches, qui font l'objet d'une alarme ECAM, la détection d'une fuite repose initialement sur la vigilance humaine lors des contrôles carburant.

En dessous du seuil de trois tonnes, une fuite de carburant ne donne pas lieu à l'apparition d'un message ECAM. Les messages ECAM **FUEL F. USED/FOB DISAGREE** (écart de 3,5 t) et **FUEL IMBALANCE** (dissymétrie de plus de trois tonnes) renvoient à la procédure FUEL LEAK.

La procédure FUEL LEAK permet de localiser l'origine d'une fuite de carburant. Cette procédure QRH est « à tiroirs » car il n'existe pas d'unique condition de fuite de carburant. Dans le cas où l'origine de la fuite n'est pas confirmée ou si la fuite n'est pas encore localisée, la procédure permet de ségréguer les zones carburant pour essayer d'en déterminer l'origine : moteurs (gauche ou droit), réservoirs des ailes (gauche ou droit) ou réservoir de trim.

Dans le cas d'une fuite latérale, la coupure du moteur est systématiquement requise car :

- si la fuite est confirmée au niveau du moteur, celui-ci doit être coupé ;
- si l'origine de la fuite est inconnue, la coupure du moteur permet de confirmer si la fuite se situe au niveau moteur ou au niveau du réservoir carburant.

¹² La procédure FUEL LEAK est décrite dans la version papier du QRH et dans le FCOM. Elle n'est pas présentée à l'ECAM.

Dans le cas d'une fuite au niveau du moteur, la coupure permet de préserver le carburant dans le réservoir associé, mais également d'empêcher l'écoulement et la dispersion du carburant dans les parties chaudes du moteur.

Si la fuite provient du réservoir, la procédure indique que l'équipage peut alors envisager de rallumer le moteur.

AIRFRANCE		ABNORMAL AND EMERGENCY PROCEDURES	19.03A
330-203 QUICK REFERENCE HANDBOOK			21 JUN 18
FUEL LEAK			
LAND ASAP			
■	Leak from engine/pylon confirmed by excessive fuel flow indication or visual check:		
THR LEVER (affected engine).....	..... IDLE		
ENG MASTER (affected engine).....	..... OFF		
WING X FEED.....	..... AS RQRD		
DO NOT RESTART AFFECTED ENGINE			
■	Leak from engine/pylon not confirmed or leak not located:		
WING X FEED.....	..... MAINTAIN CLOSED		
L CTR PUMP.....	..... OFF		
R CTR PUMP.....	..... OFF		
T TANK FEED.....	..... ISOL		
INNER TANKS FUEL QUANTITIES.....	..... MONITOR		
■	If one inner tank depletes faster than other by at least 500 kg (1 100 lb) in less than 30 min:		
THR LEVER (engine of affected inner tank).....	..... IDLE		
ENG MASTER (engine of affected inner tank).....	..... OFF		
FUEL LEAK.....	..... MONITOR		
■	If leak stops:		
ENGINE LEAK CONFIRMED			
L CTR PUMP.....	..... ON		
R CTR PUMP.....	..... ON		
T TANK FEED.....	..... AUTO		
WING X FEED.....	..... AS RQRD		
DO NOT RESTART AFFECTED ENGINE			
■	If leak continues (after engine shutdown):		
WING LEAK SUSPECTED			
ENGINE RESTART.....	..... CONSIDER		
FUEL LOSS REDUCTION.....	..... CONSIDER		
Refer to ABN-19 Fuel Loss Reduction			
CAUTION		Do not apply the FUEL IMBALANCE procedure. Approach and landing can be done, even with one full wing/one empty wing.	
■	If both inner tanks deplete at a similar rate:		
LEAK FROM CENTER TANK, TRIM TANK OR APU/TRIM FEEDING LINE SUSPECTED			
L CTR PUMP.....	..... ON		
R CTR PUMP.....	..... ON		
■	If fuel smell in cabin:		
APU.....	..... OFF		
T TANK FEED.....	..... MAINTAIN ISOL		

Figure 5 : procédure FUEL LEAK du QRH A330
(source : Air France)

Le risque d'incendie n'est pas explicitement mentionné dans le FCTM A330 d'Airbus. Il l'est dans celui d'autres constructeurs de la flotte Air France dont le B777/B787 : « *il existe deux raisons de couper le moteur. La première est de fermer la vanne d'alimentation, ce qui arrête la fuite. Ceci empêche la perte de carburant pouvant entraîner une situation de bas niveau. La deuxième raison est que le potentiel d'incendie augmente lorsque le carburant coule autour du moteur. Le risque d'incendie augmente davantage encore quand les reverses sont déployés après l'atterrissement. La sortie des reverses change significativement le flux d'air autour du moteur, ce qui peut disséminer du carburant dans une zone plus grande* ».

1.6.7 Performances

La distance d'atterrissement a été calculée lors de l'enquête en considérant les données opérationnelles du vol de l'événement : une valeur de QNH de 1 011 hPa, une température statique de 22 °C, une piste sèche, tous les moteurs en fonctionnement, une masse à l'atterrissement de 171,7 t, configuration 3, air conditionné OFF et A/THR engagé.

Avec une sélection d'un niveau moyen de freinage automatique (*Auto-brake MED*), la distance nécessaire à l'atterrissement (FLD) avec un vent arrière de 9 kt et une vitesse de 150 kt était égale à 2 501 m pour une distance disponible à N'Djamena¹³ de 2 410 m¹⁴, telle qu'indiquée par le NOTAM.

ROW - ROPS

Ce système est destiné à prévenir les excursions de piste à l'atterrissement. Il compare la distance d'atterrissement nécessaire, fonction de la masse et configuration avion actuelle, avec la longueur de piste disponible et alerte l'équipage si la marge de distance d'arrêt est inférieure à 15 % grâce à

- une alarme en vol (ROW), visuelle et orale indiquant que la piste est trop courte (« **RUNWAY TOO SHORT** ») pour inciter l'équipage à envisager la remise des gaz ;
- une alarme au sol (ROPS), visuelle et orale, « **MAX BRAKING MAX REVERSE** » pour inciter l'équipage à augmenter le freinage.

Au moment du toucher des roues du F-GZCJ, à 23 h 34 min 27, l'alarme ROPS « **BRAKE MAX BRAKING MAX BRAKING** » est entendue au CVR à deux reprises. Deux secondes plus tard, le copilote freine manuellement au-delà de 2/3 du plein débattement pendant 20 s jusqu'à atteindre le débattement maximum, désactivant le système de freinage automatique qui était engagé.

La longueur de piste considérée par le ROPS à bord de l'avion était de 2 800 m car elle ne prenait pas en compte le seuil décalé du NOTAM (voir § 1.10).

1.7 Renseignements météorologiques

BRAZZAVILLE (FCBB)

METAR FCBB 312300Z 21002KT 8000 NSC 23/23 Q1013 NOSIG

TAF FCBB 311700Z 3118/0124 24006KT 8000 SCT016 BECMG 3121/3123 SCT015 FEW026CB

PROB30 3123/0103 -TSRA BECMG 0103/0105 SCT018

YAOUNDE (FKJS)

METAR FKYS 312300Z 24004KT 6000 SCT006 23/23 Q1015 BECMG BKN006

TAF FKYS 311700Z 3118/0118 21005KT 8000 FEW020 BECMG 3121/3123 BKN006 PROB30

0104/0107 4000 BR BECMG 0106/0109 BKN016

N'DJAMENA (FTTJ)

METAR FTTJ 312300Z 31005KT 8000 NSC 22/08 Q1011 NOSIG

TAF FTTJ 311700Z 3118/0124 34008KT CAVOK TEMPO 3118/3120 4000 HZ TEMPO 0116/0119

4000 HZ

¹³ L'équipage avait pris en compte une VAPP nominale et 10 kt de vent arrière. Le calcul indique que la FLD calculée par l'équipage en vol était inférieure à la longueur de piste 2 410m.

¹⁴ Voir § 1.10.

Le complément opérationnel aux fiches LIDO C-01 d'Air France mentionne :

« En période d'Harmattan de novembre à mars, le vent peut être soutenu jusqu'en très basse couche : risque de fort vent arrière en piste 23 (se méfier d'un vent calme au sol : on peut avoir dans ces conditions jusqu'à 30 kt du Nord-Est entre 500 et 2 000 ft). L'approche en QFU 23 présente moins de problèmes aérologiques en courte finale ; hormis le vent arrière possible ».

1.8 Aides à la navigation

Le jour de l'événement, l'équipage a réalisé l'approche RNAV 23 à N'Djamena. L'ILS 05 était indisponible.

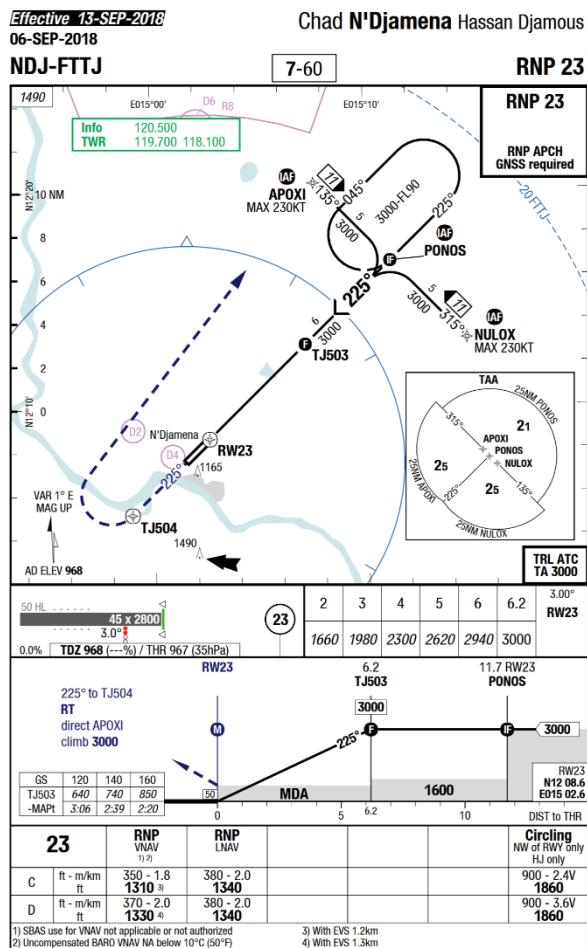


Figure 6 : carte d'approche RNP 23
(source : LIDO)

1.9 Télécommunications

L'équipage a été successivement en contact avec les organismes de contrôle suivants :

- le centre de contrôle en route de Brazzaville ;
- le centre de contrôle en route de N'Djamena ;
- le contrôle d'approche de N'Djamena ;
- le contrôle d'aérodrome de N'Djamena.

1.10 Renseignements sur les aéroports

Aéroport de N'Djamena

L'aéroport international Hassan Djamous de N'Djamena - comporte une piste QFU 05/23°, de longueur 2 800 m et de largeur 45 m. Le QFU 23 n'est pas équipé de rampe d'approche, ni d'éclairage de ligne axiale.

Les aéronefs de plus de 40 t doivent faire demi-tour au bout des pistes 05/23 sur les raquettes prévues à cet effet et libérer la piste par le taxiway B.

L'équipage a utilisé la carte d'approche RNP 23 LIDO ainsi que le complément opérationnel fourni par l'exploitant.

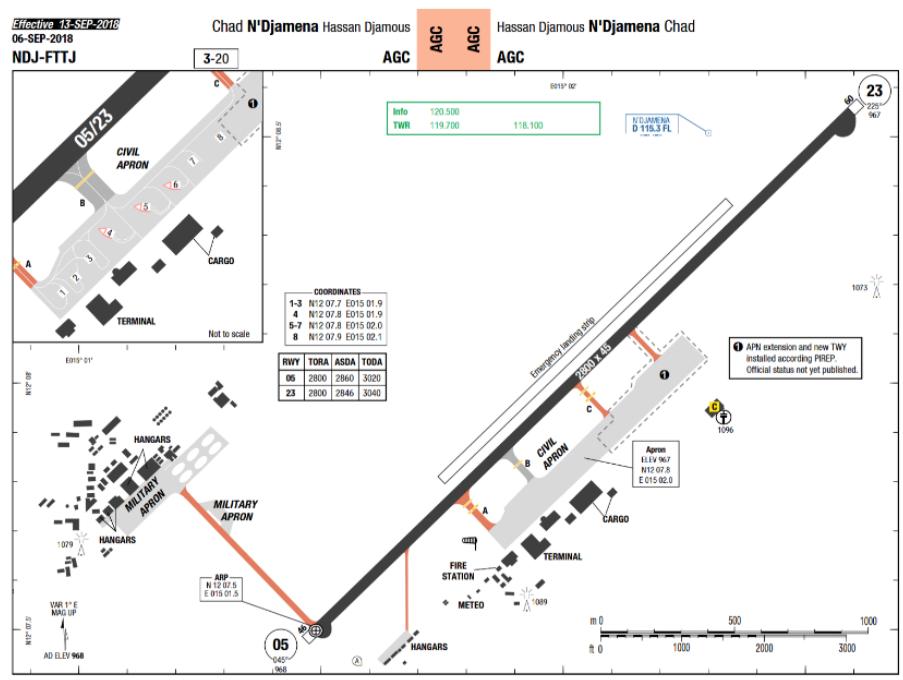


Figure 7 : carte SOL
(source : LIDO)

NOTAM

Le jour de l'événement, en raison de travaux au seuil 05 et à proximité, un NOTAM mentionnait la présence d'un seuil décalé en piste 05 réduisant la longueur de la piste de 390 m sur les deux QFU, l'absence d'indicateur de pente d'approche (PAPI) sur ce même QFU ainsi que la suspension de la procédure ILS en piste 05.

Un NOTAM d'Air France précisait que les 390 m entre le seuil décalé et la raquette 05 étaient utilisables en tant que taxiway, et que le demi-tour pouvait se faire à la raquette 05 et la mise en puissance à partir du nouveau seuil décalé.

Sécurité incendie sur l'aéroport

L'aéroport est équipé d'un service sécurité incendie niveau 8 adapté pour accueillir un A330.

Aéroport de Yaoundé

L'aéroport international de Yaoundé-Nsimalen est situé à 2 276 ft. Il est doté d'une piste de longueur 3 402 m et de largeur 45 m et est équipé d'un ILS en piste 19 (voir annexe 3).

Aucun NOTAM impactant les performances n'était en vigueur le jour de l'événement.

1.11 Enregistreurs de bord

L'avion était équipé de deux enregistreurs de vol (FDR et CVR), conformément à la règlementation en vigueur.

Enregistreur de paramètres (FDR)

- Constructeur : Honeywell
- Modèle : 4700
- Numéro de type : 980-4700-042

Il s'agit d'un enregistreur de paramètres à cartes mémoires d'une capacité d'enregistrement d'au moins 25 h. Le document de conversion des données binaires en valeurs physiques fourni par le constructeur renseigne environ 800 paramètres.

Enregistreur phonique (CVR)

- Constructeur : Honeywell
- Modèle : 6022
- Numéro de type : 980-6022-001

Il s'agit d'un enregistreur à cartes mémoires d'une capacité d'enregistrement d'au moins 2 h.

Les pistes suivantes étaient enregistrées :

- piste 1 comprenant les communications radio et le signal des microphones du pilote en place gauche ;
- piste 2 comprenant les communications radio et le signal des microphones du pilote en place droite ;
- piste 3 comprenant les communications radio, le signal du microphone du troisième homme (place arrière), et le signal FSK¹⁵ ;
- piste comprenant les trois premières pistes mixées ;
- piste CAM comprenant le signal du microphone d'ambiance.

Les deux enregistreurs contenaient les informations relatives au vol de l'événement.

La synchronisation CVR-FDR a été faite en utilisant les paramètres de compression des trains d'atterrissement, du bouton d'activation des radio communications et de l'engagement de l'AP.

Une anomalie audio a été identifiée sur la piste mixée et sur la piste CAM du CVR. Des blocs de données audio étaient dupliqués et indûment insérés dans l'enregistrement selon un cycle défini qui a été identifié ce qui a permis de supprimer les doublons de données. L'enregistreur CVR a été envoyé chez le constructeur Honeywell qui a réalisé un examen de l'équipement. Il a identifié une défaillance interne et a procédé à une réparation.

Ce dysfonctionnement n'était détectable ni par le dispositif de surveillance interne au CVR, ni par le test journalier effectué par l'équipage en cockpit via la commande CVR TEST, ni lors d'une opération élémentaire de vérification annuelle imposée par la règlementation européenne.

¹⁵ Frequency-Shift Keying (Modulation par déplacement de fréquence)

La présence de cette anomalie a fortement ralenti l'exploitation immédiate du contenu audio dans le cadre de l'analyse de l'événement. Après suppression des doublons, l'analyse du contenu audio a pu être réalisée dans sa totalité.

1.12 Renseignements sur l'épave

Néant.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Néant.

1.14 Incendie

Néant.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

Néant.

1.16 Essais et recherches

1.16.1 Recherche de la fuite de carburant

Lors du roulage après l'atterrissement, les techniciens de maintenance présents à bord ont indiqué que l'écoulement de carburant était fort et s'effectuait à la verticale du drain situé sous le moteur 1. Un écoulement résiduel a continué après la coupure du moteur 1.

Les inspections de maintenance au sol ont par la suite permis d'identifier une fuite importante au niveau de la bride de serrage supérieure de la tuyauterie principale de carburant du moteur 1. Cette tuyauterie a pour fonction d'amener le carburant en provenance des réservoirs vers le moteur (voir § 1.6.5). La bride supérieure de cette tuyauterie forme l'interface entre le mât et le moteur. Elle est démontée à chaque dépose de ce dernier.

La tuyauterie principale de carburant présentait un jeu de 3 à 5 mm lors de sa manipulation, après l'événement. Les quatre écrous étaient freinés mais deux d'entre eux présentaient un serrage insuffisant. Par conséquent, lorsque du carburant sous pression alimentait le moteur, il était éjecté de part et d'autre de la tuyauterie, à l'intérieur des capots moteur.

Lors des actions ultérieures de démontage et remontage de l'assemblage par la compagnie, aucune déformation n'a été observée sur le joint, la bride ou l'épaulement de la tuyauterie.

Actions de maintenance préalables à l'événement

Le 30 septembre 2020, l'avion est sorti de visite dite « Interruption Longue ». Cette visite était sous-traitée par Air France à l'atelier de maintenance HAECO, situé à Xiamen (Chine). Elle incluait la dépose et la repose des deux moteurs, impliquant le démontage et le remontage de la bride supérieure de la tuyauterie principale de carburant.

Aucune fuite n'a été constatée à cette interface lors des contrôles à la fin des opérations de maintenance, notamment lors de la mise en pression du circuit de carburant.

L'avion est revenu en France puis n'a plus volé jusqu'au 26 décembre 2020. Il a ensuite effectué six vols avant le vol de l'événement. Pendant ces vols, aucune anomalie n'a été constatée par les équipages. Les données FDR des vols précédent l'événement n'indiquent pas de fuite.

Difficulté du montage de la tuyauterie carburant

Le montage de la tuyauterie principale de carburant comporte une difficulté mise en lumière par une note du manuel de maintenance (AMM) (voir Figure 8), introduite en 2015 par Airbus, recommandant de s'assurer que l'épaulement de la tuyauterie est bien plaqué contre le mât avant de serrer les boulons, pour éviter une déformation de l'assemblage.

- (1) Remove the bolts (10) that attach the deflector plate (1) to the pylon. Attach the I PC-CSN(73-11-46-20 ITEM 070) GASKET (11), primary fuel hose (7), and the deflector plate (1) to the pylon with the bolts (10). Make sure the deflector plate (1) is on the hose (7). TORQUE the bolts (10) **to between 75 and 85 lbf.in (0.85 and 0.96 m.daN)** and safety them with the lockwire (Material Ref. C10-071).

NOTE: Ensure that the fuel hose flange is fully seated before torquing the bolts. Distortion may occur if the fuel hose flange is improperly seated when the bolts are torqued.

Figure 8 : Extrait de l'AMM 73-11-46-400-801-A "Installation of the Primary Fuel Hose"

La documentation utilisée par HAECO pour le remontage de l'assemblage (voir Figure 9) comportait bien cette note. Les valeurs de serrage manuscrites indiquent que les boulons ont été serrés à la valeur recommandée.

- (c) Install a new IPC -CSN (73-11-46-20-070) gasket (129) and attach the primary fuel hose (126) and the deflector plate (128) to the fuel port F1 with the bolts (127). TORQUE the bolts (127) **to between 75 and 85 lbf.in (0.85 and 0.96 m.daN)**. Lockwire the bolts (127) with lockwire (Material No. C10-071). *85 lbf.in. (0.85 and 0.96 m.daN)*

NOTE: Ensure that the fuel hose flange is fully seated before torquing the bolts. Distortion may occur if the fuel hose flange is improperly seated when the bolts are torqued.

Figure 9 : Extrait de l'AMM 71-00-00-400-802-A « Installation of the Engine »
(Référence utilisée lors du remontage du moteur 1 par HAECO à XMN)

L'opération de montage de la tuyauterie principale de carburant est délicate pour les raisons suivantes :

- le déflecteur empêche toute visibilité de l'opérateur sur l'alignement des éléments de l'assemblage. Certains techniciens indiquent utiliser une glace articulée, d'autres vérifient que l'épaulement est bien plaqué contre le mât en secouant la tuyauterie pour vérifier l'absence de jeu ;
- la tuyauterie n'est pas perpendiculaire à la surface du mât (voir Figure 10) car elle est coudée, ce qui n'aide pas à visualiser l'alignement des éléments de l'assemblage.

L'épaulement de la tuyauterie principale de carburant n'est pas représenté sur l'IPC (voir Figure 3), ce qui peut conduire à une incompréhension de l'assemblage. Les instructions de l'AMM ne précisent pas de moyen de s'assurer que l'épaulement de la tuyauterie est bien positionné dans l'alésage de la bride de serrage.

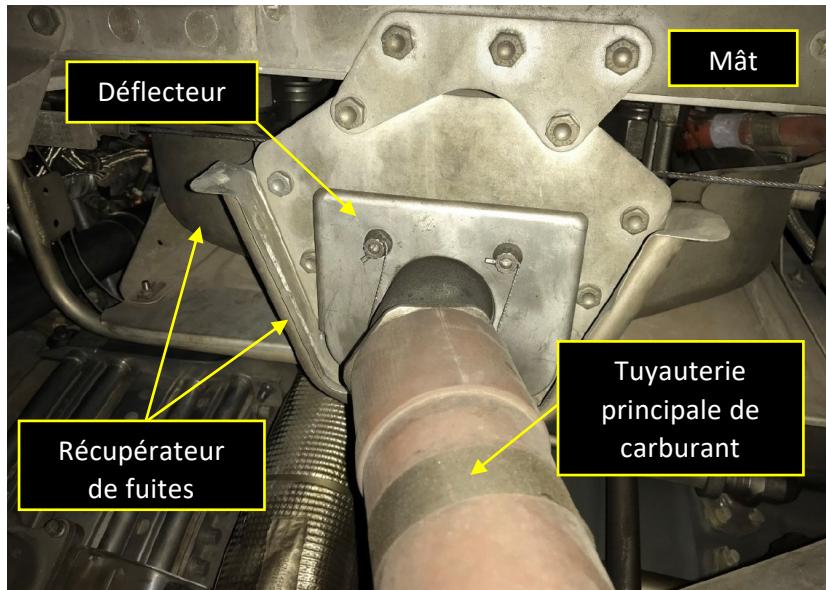


Figure 10 : Vue de la bride supérieure de la tuyauterie principale de carburant (source : BEA)

Dans une *Training Newsletter* référencée *Issue C F680C21005* et datée d'octobre 2005, le constructeur GE a émis des recommandations aux opérateurs à la suite d'un cas de fuite à l'interface entre la pompe carburant et l'unité de contrôle moteur (MEC). Cette interface est très similaire dans sa conception à celle entre la tuyauterie principale de carburant et le mât moteur. GE souligne notamment le risque de mauvais positionnement de la bride sur l'épaulement de la tuyauterie (voir Figure 11). Un serrage des boulons consécutivement à un mauvais positionnement de la bride peut assurer temporairement l'étanchéité grâce aux joints toriques. Mais des vibrations peuvent par la suite remplacer l'épaulement de la tuyauterie dans l'alésage de la bride (voir **Figure 12**), conduisant à une perte de serrage et par conséquent à une fuite.

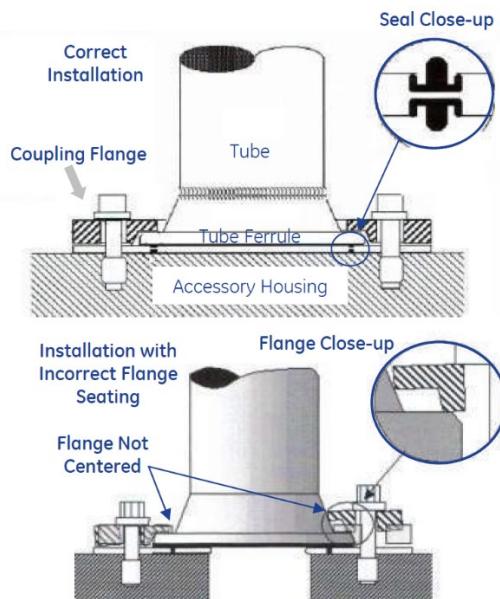


Figure 11 : Mauvais positionnement de la bride sur l'épaulement de la tuyauterie
(Source : GE Training Newsletter, issue C F680C21005, October 2005)

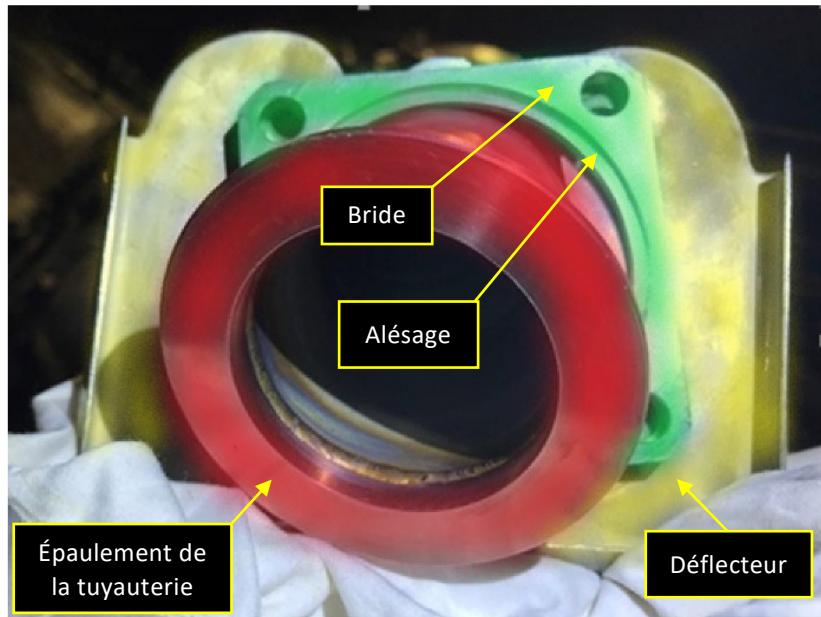


Figure 12 : Vue de l'alésage de la bride, siège de l'épaulement de la tuyauterie principale de carburant (Source : HAEKO)

À la suite d'une fuite carburant survenue en 2004 sur un Boeing 747 à la jonction entre le MEC et le transmetteur de débit carburant, par mauvais alignement de la bride de maintien de la tuyauterie, Air France a mis en avant les difficultés de ce type de montage. En particulier, il est possible que le montage assure une étanchéité suffisante lors du point fixe de contrôle, mais que celle-ci se dégrade de façon importante au cours du vol, notamment à la suite des contraintes engendrées lors de l'utilisation du moteur à forte poussée. Une vigilance particulière a été demandée aux équipes d'entretien au travers d'une communication interne à la compagnie.

La jonction de cette tuyauterie du Boeing 747 est similaire à la bride de serrage de la tuyauterie principale de carburant de l'A330.

Bulletin spécial SPIB 71-046

Afin de réduire la possibilité d'un mauvais positionnement de la bride de serrage sur l'épaulement de la tuyauterie principale de carburant, le SPIB 71-046 a été émis le 10 décembre 2015 par Collins Aerospace¹⁶ l'équipementier qui produit l'interface entre le moteur et l'aile (voir annexe 2).

1.16.2 Risque incendie en cas de fuite de carburant

Toute fuite de carburant engendre potentiellement un risque d'incendie. Consultés pendant l'enquête de manière indépendante, deux motoristes et le constructeur Airbus ont évalué de façon générale le risque d'incendie lié à une fuite carburant dans la zone moteur en fonction de la phase de vol.

¹⁶ Au travers de sa filiale Rohr Aircraft.

Il apparaît que lorsque la pression de l'air augmente et que le flux de ventilation diminue, le risque d'auto-inflammation augmente. C'est notamment le cas :

- en approche, avec une pression de l'air qui augmente et un flux de ventilation faible (vitesse air avion et vitesse de rotation des moteurs faibles) ;
- au sol, avec une pression air élevée et un flux de ventilation faible (vitesse air avion et vitesse de rotation des moteurs faibles), flux qui peut être modifié en cas de sortie des reverses après l'atterrissement ;
- en remise des gaz, avec une pression d'air élevée et une vitesse air avion faible.

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

1.17.1 Principe de la documentation Airbus

Flight Crew Operating Manual (FCOM)

Le FCOM, référence de base lors de la formation initiale et continue, est un document dont les objectifs sont de :

- fournir aux pilotes des informations sur les limitations, les procédures, les performances et les systèmes avion ;
- servir de base aux exploitants qui souhaitent développer des procédures spécifiques à leurs opérations.

Flight Crew Techniques Manual (FCTM)

Le FCTM a fait l'objet de nombreuses optimisations depuis 2016. Celles-ci ont été présentées par le constructeur lors de divers séminaires et symposiums.

L'objectif du FCTM est aujourd'hui de centraliser dans un manuel unique les techniques qui étaient publiées dans les FCOM et FCTM précédents.

Ainsi aujourd'hui :

- le FCTM contient des techniques, tandis que le FCOM contient des procédures ;
- la structure du FCOM et celle du FCTM sont en miroir.

Le FCTM fournit des informations complémentaires au FCOM et sa consultation par les pilotes est requise. Il aborde les sujets suivants :

- la philosophie opérationnelle de l'Airbus : principes de conception et d'utilisation, « golden rules » à l'attention des pilotes ;
- des informations sur les procédures FCOM/QRH ;
- des informations renseignant sur le « *pourquoi* » et le « *comment* » des procédures FCOM ;
- des informations sur les meilleures pratiques, certaines manœuvres techniques, et l'utilisation des systèmes ;
- des informations de nature à améliorer la conscience de la situation des pilotes ;
- certains risques potentiels et leurs conséquences.

1.17.2 Compétence « Application des procédures » chez l'exploitant

Le principe de sécurité prévalant lors de la conception d'une procédure repose sur le fait que celle-ci est effectuée au moment adéquat, avec rigueur et dans son intégralité.

Dans le manuel d'exploitation partie D (formation), la compétence « application des procédures » est décrite à l'aide de comportements attendus ci-dessous (source : Air France) :

Définition

Utiliser et adhérer aux procédures en vigueur

Comportements Attendus :

Adhère aux procédures.
<ul style="list-style-type: none"> • Se conforme la réglementation en vigueur
Sait où trouver une procédure dans la documentation opérationnelle.
<ul style="list-style-type: none"> • Sait où trouver une procédure dans la documentation opérationnelle
Applique correctement les procédures avec un bon niveau de conformité et au bon moment.
<ul style="list-style-type: none"> • Identifie et applique les procédures • Utilise les systèmes de l'avion et les équipements associés conformément aux procédures • Surveille les systèmes avion • Démontre une connaissance des procédures
Utilise les procédures pour gérer le vol de manière sûre en considérant la performance opérationnelle et le confort passager.
Sait s'écartier des procédures en concertation équipage lorsque la sécurité l'exige.
<ul style="list-style-type: none"> • S'écarte de la procédure pour raison de sécurité

On constate un écart entre la documentation Air France et la documentation européenne relative aux opérations aériennes¹⁷ (voir annexe 4) dans la définition d'un des comportements observables de la compétence « application des procédures » :

- La documentation Air France indique : « *Sait s'écartier des procédures en concertation équipage lorsque la sécurité l'exige. S'écarte de la procédure pour raison de sécurité* » ;
- La documentation européenne indique : « *Applique les procédures, sauf si un plus haut degré de sécurité l'exige* ».

1.17.3 Processus décisionnel à la suite d'une panne ou une anomalie

Les équipages Air France utilisent le FORDEC, décrit dans le manuel d'exploitation partie A et D, pour la prise de décision en cas de panne ou de toute autre irrégularité. Celui-ci s'applique dès que la procédure de gestion de la situation anormale ou panne est terminée.

Le manuel d'exploitation partie A décrit la méthode FORDEC qui prévoit :

- une collecte des informations factuelles déterminantes affectant le vol (technique, opérationnelle, commerciale, économique). La collecte des faits prévoit que les bilans techniques et opérationnels prennent sur les aspects commerciaux et économiques ;
- la liste des options disponibles en lien avec les nouvelles capacités de l'avion, notamment

¹⁷ Règlement (UE) n°965/2012 de la Commission du 5 octobre 2012 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables aux opérations aériennes ([Version en vigueur le jour de l'incident](#)).

continuer à destination, retourner vers le départ ou dérouter, ainsi qu'un examen des différentes pistes et types d'approches possibles au déroutement ;

- une analyse des avantages et inconvénients pour chaque option, considérant les critères essentiels (limitations, conditions météorologiques, pistes et approches disponibles) et des critères additionnels (maintenance et gestion des passagers par exemple) ;
- une prise de décision du CDB après sollicitation du copilote ;
- l'exécution des tâches par répartition ;
- un contrôle à chaque évolution pour vérifier que la solution choisie reste valide.

Le manuel d'exploitation partie D décrit les comportements attendus des pilotes comme suit (source : Air France) :

Définition

Identifier les risques et les opportunités, résoudre les problèmes et prendre des décisions.

Comportements Attendus :

Prend en compte le temps disponible et la possibilité d'un F.O.R.D.E.C.

- Temporise à la suite d'un changement ou d'une défaillance
- (T) Prend en compte le temps disponible
- Emploie le F.O.R.D.E.C.

Collecte, interprète et valide les informations déterminantes de la situation.

- (F) Recherche les informations précises et pertinentes auprès des sources appropriées
- (F) Identifie les éléments qui ont conduit à la situation rencontrée

Dresse une liste d'options.

- (O) Détermine et étudie les options
- (O) Improvisé face à l'imprévisible pour obtenir le résultat le plus sûr

Évalue les risques et les bénéfices de chaque option.

- (R) Détermine et gère les risques/bénéfices et les conséquences des différentes options

Décide d'un plan d'action en concertation.

- (D) Sélectionne un plan d'action

Met en œuvre la décision en équipage

- (E) Fixe les priorités
- (E) Au-delà de "Quoi" et « quand » faire, prévoit « qui » et "Comment" le faire
- (E) Adhère au plan d'action

Revalide la décision en fonction de l'évolution du contexte.

- (C) Surveille, examine et adapte au besoin les décisions et les projets d'action

On constate un écart dans l'un des comportements observables de cette compétence entre la documentation Air France et la documentation européenne.

Alors que la documentation européenne préconise que « *le pilote s'adapte quand il se trouve face à une situation pour laquelle il n'existe ni directives ni procédures* », celle d'Air France préconise que le pilote « *improvise face à l'imprévisible pour obtenir le résultat le plus sûr* ».

1.17.4 Compétence de leadership et travail en équipage chez l'exploitant

La compétence de leadership et travail en équipage à Air France est développée dans la partie D du manuel d'exploitation et décrite à l'aide de comportements attendus et observables ci-dessous (source : Air France) :

Définition

Instaurer un climat de confiance favorisant la collaboration. S'impliquer dans l'atteinte de l'objectif commun.

Comportements attendus

Apporte son soutien.

- Soutient, encadre, délègue ou donne des directives quand nécessaire

Encourage l'expression des avis et des doutes

- Implique les autres
- Encourage la participation de l'équipe et une communication ouverte
- Encourage, donne et reçoit les retours de manière constructive
- Tient compte des suggestions
- Tient compte des diversités culturelles et linguistiques

Garde son calme et reste factuel dans la gestion des conflits, suggère et suscite des solutions.

- Règle les conflits et les désaccords de manière constructive

Défend sa position et intervient avec assurance.

- Défend sa position et intervient avec assurance quand la sécurité est en jeu
- Intervient efficacement en cas d'écart

Prend ses responsabilités et reconnaît ses erreurs.

- Prend des initiatives
- Exécute les instructions lorsqu'il en reçoit l'ordre

De surcroît, la partie A du manuel d'exploitation distingue les comportements attendus selon la fonction :

Pour le CDB, le comportement attendu est notamment défini par les points suivants :

- « *Est exemplaire et s'assure de l'exemplarité de son équipage.*
- *Développe un esprit d'équipe en motivant son équipage, en l'impliquant dans les opérations et le processus de décision en partageant l'information.*
- *Entraîne l'ensemble des acteurs dans le but d'assurer la sécurité, la sûreté, et d'atteindre l'objectif de ponctualité.*
- *S'assure que les décisions appropriées sont prises et appliquées.*
- *Encourage l'esprit d'équipe et crée un climat de dialogue et d'écoute.*
- *Encourage le retour d'expérience de l'équipage et du personnel sol ».*

Pour le copilote, il est indiqué :

- « *Assiste le CDB dans la conduite sûre et optimisée du vol.*
- *Doit exprimer ses doutes dans un esprit de coopération responsable.*
- *Transmet au CDB toute information, conseil et assistance qui contribue à la conduite sûre et efficace du vol ».*

Une telle distinction entre commandant de bord et copilote n'est pas envisagée dans la documentation européenne.

Le rôle du copilote suppléant n'est pas explicité dans la documentation Air France.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Témoignage du commandant de bord

Dans son souvenir, il manquait une tonne¹⁸ de carburant dès le premier contrôle en début de croisière. Il a alors pensé que du carburant était en train de circuler dans les canalisations et que la situation allait se stabiliser.

Il a décidé de ne pas couper le moteur comme prévu dans la procédure car il estimait que cela allait générer plus de risque que son maintien en fonctionnement. Il estimait également qu'il n'y avait pas de risque d'incendie dans la mesure où aucun incendie ne s'était déclaré immédiatement. Il ajoute qu'il ne voulait pas inquiéter les PNC en coupant le moteur.

Selon lui, l'objectif principal de la procédure FUEL LEAK, et notamment l'action de couper le moteur, est de préserver le carburant par exemple en cas de survol océanique. Dans le cas de l'événement, il indique que si un incendie s'était déclaré, il aurait effectué la procédure ENGINE FIRE.

Par la suite lors de la descente, le témoignage du technicien lui indiquant que le carburant qui fuyait s'éloignait des parties chaudes l'a conforté dans sa décision de ne pas couper le moteur gauche.

Il indique que le copilote suppléant avait mentionné, après avoir lu l'intégralité de la procédure FUEL LEAK dans le QRH, qu'il ne fallait pas utiliser les reverses au sol.

Une fois au sol, au parking, il a été surpris de constater l'importance de la fuite et a pris conscience du risque d'incendie car la température des freins était très élevée.

Dans le cadre des entraînements lors de la QT A330, il ne se souvient pas avoir coupé le moteur lors de l'exercice FUEL LEAK. Il ne pense pas qu'il l'aurait coupé, même au simulateur.

Il indique que la décision de couper le moteur relève de sa prérogative de CDB.

Il différentie une checklist ECAM d'une checklist QRH. Dans le cas d'un ECAM, si la procédure est interrompue, l'ECAM subsiste, ce qui n'est pas le cas d'une procédure QRH. Il précise que si la procédure FUEL LEAK avait été présentée via l'ECAM, il pense qu'il aurait coupé le moteur.

Il estime que lors de l'événement, la répartition des tâches a été satisfaisante et que le fait d'être en équipage à trois leur a été particulièrement utile.

1.18.2 Témoignage du copilote

Le copilote indique que quand la fuite est apparue probable, il avait affiché des cercles de 250 Nm sur son écran de navigation (ND) et avait conscience de la position travers Yaoundé. Il estime que si le taux de fuite avait augmenté, la coupure du moteur aurait été possible à tout moment. Ils n'ont pas réalisé la procédure FUEL LEAK dans son intégralité (pas de coupure du moteur) car ils n'étaient pas dans le cadre d'un survol océanique ou désertique, qu'ils avaient assez de carburant et que le taux de fuite était faible. L'objectif de la coupure du moteur est de préserver le carburant.

Il estime que si le moteur n'est pas endommagé, le risque d'incendie en vol est faible. Il précise qu'il peut exister une barrière psychologique avec la coupure d'un moteur.

Il indique avoir parlé du NOTAM de N'Djamena avant le vol mais ne pas l'avoir eu à l'esprit lors de la décision de déroutement.

¹⁸ La quantité manquante était alors de 1,4 t.

Lors du briefing arrivée, il se souvient avoir suggéré de couper le moteur avant l'approche. Il voulait se poser « configuration full » car il n'y avait selon lui pas de risque de perdre le moteur en finale¹⁹, et dans ce cas, ils auraient interrompu l'approche. Il n'a pas insisté.

Dès le déclenchement de l'alarme ROPS, il a freiné immédiatement.

Il a de nouveau mentionné le risque de feu lors du roulage, car il pensait couper le moteur dès l'atterrissage. Il s'est rangé à l'avis des deux autres pilotes en cette occasion.

Il se souvient avoir effectué l'entraînement FUEL LEAK en A320. Il ne se souvenait pas qu'il ne fallait pas sortir les reverses.

Il pense qu'ils auraient probablement coupé le moteur si la procédure avait été affichée à l'ECAM.

1.18.3 Témoignage du copilote suppléant

En opération, il a déjà constaté des écarts de l'ordre de 700 ou 800 kg au début de certains vols sur A330 ce qu'il explique par la présence de carburant dans les canalisations lors des transferts et par l'imprécision des jaugeurs.

Lors de la lecture de la procédure FUEL LEAK, il a été conforté sur le fait de ne pas couper le moteur 1 par la réaction des autres pilotes et « *soulagé* » que le CDB ait pris cette décision.

Celle-ci était corroborée par le fait que la coupure moteur ne se justifiait que s'il y avait un besoin impérieux de stopper la fuite, pour préserver le carburant, comme c'est le cas lors des survols océaniques.

Il n'associait pas la procédure FUEL LEAK avec un risque incendie, sauf en cas de sortie des *reverses* après l'atterrissage, car la procédure laisse la possibilité de rallumer le moteur en cas de fuite de carburant sur l'aile. Enfin, il signale que si la procédure FUEL LEAK avait mentionné un risque d'incendie, cela aurait pu contribuer à alimenter la discussion sur la coupure du moteur 1.

Il a mentionné la possibilité de couper le moteur 1 avant la descente. Il considère a posteriori qu'il aurait été judicieux de le couper avant l'approche.

Il indique qu'il n'y avait pas beaucoup d'options de déroutement. À Yaoundé la météo était moins bonne, ils ne connaissaient pas l'aéroport qui est situé à une altitude plus élevée que N'Djamena.

À N'Djamena les conditions météorologiques étaient meilleures, l'aéroport était connu et plus sécurisant, notamment en raison de la présence militaire permanente de l'autre côté de la piste.

Dans son esprit ce n'était pas une bonne solution d'envisager une approche RNP de nuit sur la piste 05 avec un seuil décalé. Il avait vécu une mauvaise expérience quelques mois auparavant : une approche RNP sur un seuil décalé à Niamey (Niger) avait amené l'équipage à effectuer un rattrapage de plan inconfortable car le plan de l'approche aboutissait au seuil habituel en amont du seuil décalé.

Lors de la finale en piste 23, il surveillait le vent arrière et envisageait la remise des gaz, qu'il n'aurait pas hésité à annoncer. Il anticipait l'augmentation de température des freins après l'atterrissage et a alors suggéré la coupure du moteur juste après l'atterrissage. Il a été surpris par l'alarme ROPS.

Une fois au sol, en raison d'une mauvaise expérience lors d'un vol précédent, il a accepté la proposition du CDB de garder les deux moteurs en fonctionnement le temps du demi-tour sur la raquette.

Il a pris conscience du risque d'incendie lorsqu'il a réalisé que le carburant continuait à couler sous le moteur et que la température des freins était élevée.

Il considère que le QRH est moins directif que l'ECAM.

Il n'a pas de souvenir particulier des entraînements FUEL LEAK lors de sa formation.

¹⁹ La procédure panne moteur requiert un atterrissage en configuration 3.

1.18.4 Témoignage de la cheffe de cabine principale

La CCP a rapidement compris qu'il y avait un problème technique, lorsqu'elle a vu que le CDB était revenu dans le poste peu de temps après être parti pour son repos. Environ 20 minutes plus tard, ce dernier lui a demandé de venir dans le poste de pilotage et a effectué un briefing sur le déroutement, sans lui demander de préparation particulière de la cabine pour l'atterrissement. La CCP est ensuite ressortie du poste, ayant le sentiment qu'un incendie et une évacuation d'urgence étaient possibles. Elle a demandé aux chefs de cabine de préparer la cabine pour une « phase 2 »²⁰ et de sélectionner des passagers requis en cas d'évacuation d'urgence. Elle n'est plus retournée dans le poste de pilotage pour ne pas déranger les pilotes. Elle anticipait une évacuation, mais ce ne fut pas le cas. Le CDB a simplement indiqué aux PNC de laisser les portes armées, sauf celle attenante à la passerelle.

1.18.5 Événements antérieurs

Les trois événements ci-dessous illustrent que les fuites carburant non gérées par l'équipage peuvent entraîner des incendies en vol ou au sol.

Accident de l'Airbus A319 immatriculé G-EUOE exploité par British Airways survenu le 24 mai 2013 en finale sur l'aéroport d'Heathrow (Royaume-Uni)²¹

Lors de la course au décollage, les portes des capots moteur, qui n'avaient pas été verrouillées, se sont détachées et ont rompu notamment une canalisation de carburant du moteur 2. L'équipage, qui avait identifié la fuite, a atterri à l'aéroport de Londres Heathrow, sans couper le moteur. En finale, lors de la sortie des volets, et tandis que la vitesse air avait été réduite, le carburant s'est enflammé et un incendie s'est déclaré. L'équipage a alors coupé le moteur et activé les extincteurs sans parvenir à éteindre l'incendie en vol, en raison de l'absence des capots moteur. L'incendie a été maîtrisé au sol après intervention des pompiers.

Incident grave du Boeing B777 immatriculé VN-A146 exploité par Vietnam Airlines survenu le 30 juillet 2008 à Narita (Japon)²²

Une fuite de carburant était survenue en vol, sans qu'il ait été possible de déterminer avec précision à quel moment elle était apparue. L'équipage n'avait pas coupé le moteur. Lors du roulage après l'atterrissement à l'aéroport de Narita, alors que l'avion est passé vent arrière sur le taxiway, le flux d'air dans le moteur a diminué et un incendie s'est déclaré. Il a été considéré qu'en vol, la ventilation du moteur avait prévenu l'apparition de l'incendie. L'origine de la fuite a été identifiée au niveau de la jonction entre la ligne de carburant et le moteur.

Incident grave du Boeing 767 immatriculé ZK-NCK exploité par Air New Zealand survenu le 30 décembre 2006 à Auckland (Nouvelle Zélande)²³

L'équipage effectuait la liaison Apia - Auckland. Aucune fuite n'avait été détectée lors de la visite pré-vol. L'enquête indique que celle-ci s'était probablement déclenchée durant le vol mais n'avait pas été identifiée par l'équipage. Par conséquent, l'équipage n'avait pas coupé le moteur puis avait normalement utilisé les reverses après l'atterrissement.

²⁰ La préparation cabine « phase 2 », consiste à préparer les PNC en vue d'un atterrissage potentiellement compliqué. Elle est définie dans le document MSS 07-10 « Procédures de préparation cabine ».

²¹ [Rapport de l'accident](#)

²² [Rapport de l'incident grave](#)

²³ [Rapport de l'incident grave](#)

Trois secondes après la rentrée des reverses, un incendie s'était déclaré sur le moteur 1. L'incendie avait été causé par une fuite de carburant au niveau de l'anneau circulaire d'injection.

1.18.6 Contrôles réalisés par l'autorité de surveillance

Par des contrôles en vol et au sol, la Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile (DSAC) et l'Organisme de Contrôle en Vol (OCV) s'assurent du respect des règlements et procédures régissant l'exploitation des aéronefs en transport commercial. Cette mission de contrôle porte également sur la formation, les qualifications et les aptitudes des personnels navigants techniques et commerciaux.

Sollicités lors de l'enquête, ces organismes ont indiqué au BEA avoir fait des constats cohérents avec les observations du présent rapport.

1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

Néant.

2 ANALYSE

2.1 Introduction

En début de croisière au FL 380, lors des premières vérifications prévues à ce stade du vol, le commandant de bord (CDB) remarque qu'il manque 1,4 tonne de carburant, sans déséquilibre latéral visible entre les réservoirs. Il impute cette différence aux transferts de carburant en cours, partage cette information avec le copilote et le copilote suppléant puis quitte le poste pour son tour de repos en demandant aux deux copilotes de surveiller l'évolution du carburant.

Environ vingt minutes après son départ du cockpit, il est rappelé par les copilotes qui suspectent une fuite sur le moteur gauche. L'équipage commence à appliquer la procédure FUEL LEAK. Alors que celle-ci demande d'envisager l'atterrissement sur l'aéroport adéquat le plus proche²⁴ et de couper le moteur concerné par la fuite, l'équipage décide de le maintenir en fonctionnement et envisage un déroutement initialement sur Yaoundé puis sur N'Djamena. Par la suite, la survenue des alertes **FUEL FUSED/FOB DISAGREE** et le message advisory **FUEL IMBALANCE**, qui renvoient à la procédure FUEL LEAK, ne suscite pas un changement du plan d'action. L'équipage continue à maintenir le moteur gauche en fonctionnement et conserve N'Djamena comme aéroport de déroutement.

Lors de la descente vers N'Djamena, le contrôleur les informe que l'ILS 05 n'est pas en service, mais que l'approche RNP 05 est disponible. Le copilote de renfort consulte alors les NOTAM qui confirme que l'ILS est indisponible et que la longueur de piste est réduite de 390 m en raison d'un seuil décalé en piste 05. Après l'intervention du copilote suppléant sur le point d'aboutissement de l'approche RNP 05, le CDB confirme que celle-ci risque de les amener au seuil 05 habituel, et non au seuil décalé, et qu'il vaut mieux effectuer l'approche RNP 23. Cette proposition est retenue.

Le CDB indique qu'il risque d'y avoir du vent arrière en finale 23 et propose de couper le moteur après l'atterrissement. Des discussions ont lieu entre les trois membres de l'équipage quant au moment précis où ils envisagent de couper le moteur après l'atterrissement. Aucune décision commune n'est prise à ce stade.

L'avion atterrit 550 m après le seuil 23 à la vitesse de 150 kt (VAPP+8). Quelques secondes plus tard, l'alarme ROPS « **BRAKE MAX BRAKING MAX BRAKING** » se déclenche. Le PF appuie au maximum sur les pédales de freins. Les températures des freins augmentent au-delà des 300 °C. Du carburant se déverse sur la piste. Malgré le questionnement initial de l'équipage, décision est prise d'effectuer le demi-tour dans le sens prévu par la raquette, moteur gauche à l'extérieur du virage. Une poussée plus importante (environ 40 % de N1) est alors appliquée sur le moteur 1, siège de la fuite.

Après le demi-tour, l'équipage coupe le moteur 1. L'avion rejoint le parking puis le moteur 2 est coupé. Un pompier commence à déverser de l'eau sous le moteur 1. Une fois l'avion sécurisé, les passagers débarquent.

À l'arrivée, la comparaison entre les valeurs de carburant consommé et restant indique une fuite totale de carburant de 5,7 t pour 2 heures 21 de vol.

²⁴ Extrait du FCTM A330 : "If amber LAND ASAP is part of the procedure, consider landing at the nearest suitable airport".

L'analyse porte sur les points suivants :

- l'origine de la fuite carburant ;
- l'absence de coupure du moteur par l'équipage ;
- le leadership et le travail en équipage ;
- le risque d'incendie lors de l'événement ;
- la perception du risque d'incendie par l'équipage ;
- le processus décisionnel et le déroutement.

2.2 Origine de la fuite carburant en vol

Lors d'une opération de maintenance programmée en septembre 2020, les deux moteurs de l'avion ont été déposés. Lors du remontage, l'épaulement de la tuyauterie principale de carburant du moteur gauche a été mal positionné, probablement du fait de la visibilité réduite ainsi que des difficultés de montage. La mise en pression du circuit carburant après la maintenance n'a pas permis d'identifier de fuite de carburant, même si la tuyauterie était mal alignée, probablement en raison de l'étanchéité assurée par le joint et le serrage de l'ensemble.

Aucune fuite n'a été détectée pendant le vol de vérification ni pendant les six vols suivants. Lors du vol de l'événement, probablement à la suite des vibrations au sol et en vol, l'épaulement s'est déplacé dans l'alésage de la bride, ce qui a desserré l'ensemble du montage et entraîné une fuite de carburant au niveau de la bride de serrage.

À la suite d'une précédente fuite au niveau de la bride de la tuyauterie principale de carburant, le centre de maintenance HAECO avait mis en place en 2016 une formation et sensibilisé les équipes de maintenance à la possibilité d'un mauvais alignement (voir annexe 2). Cette expérience et cette formation, non récurrente, n'ont pas permis d'éviter le mauvais alignement sur le F-GZCJ. La note présente dans la documentation du constructeur du moteur utilisée pour le montage de la bride recommande de s'assurer que l'épaulement de la tuyauterie est bien plaqué contre le mât avant de serrer les boulons, ceci pour éviter une déformation de l'assemblage. L'absence de méthodologie claire de vérification du bon alignement, d'indication sur les conséquences possibles du mauvais alignement de la bride, et le fait que le schéma explicatif référencé dans la tâche de maintenance manque de clarté ont probablement limité la conscience du risque de défaut de montage et du risque de fuite par les techniciens de maintenance.

Un nouveau modèle de bride, de diamètre intérieur moins large a été conçu afin de limiter la possibilité de défaut d'alignement de la bride. Dès 2015, un bulletin spécial de Collins Aerospace, le constructeur de la bride (voir § 1.16.1 et annexe 2), informait les opérateurs de la disponibilité de ce nouveau modèle de bride, tout en indiquant que l'ancien modèle pouvait encore être utilisé, et ce jusqu'à épuisement des stocks de l'ancien modèle. Aucun bulletin de service du motoriste ou de l'avionneur n'a repris celui de Collins Aerospace.

Depuis 2017, seul le nouveau modèle est proposé par Collins Aerospace à ses clients. Néanmoins, il est possible que les brides de serrage d'ancien modèle continuent d'être montées pendant plusieurs années, en fonction des stocks des ateliers d'entretien. La possibilité de l'apparition d'une fuite au niveau de la bride de la tuyauterie principale de carburant existe toujours si les opérateurs utilisent la bride d'ancienne conception.

2.3 Absence de coupure du moteur

L'équipage a commencé à appliquer la procédure FUEL LEAK après le retour du CDB dans le cockpit. Néanmoins, la coupure du moteur a constitué un point d'arrêt dans le processus de traitement de panne. Le CDB s'est immédiatement positionné en faveur du maintien du moteur en fonctionnement et a, dès cet instant, instauré une déviation à la procédure. Les copilotes qui partageaient son opinion, notamment pour la phase de croisière, se sont rapidement rangés à sa suggestion de maintenir le moteur en fonctionnement. Toute remise en question de la décision de ne pas couper le moteur semblait alors improbable en l'absence d'éléments nouveaux lors de cette phase de vol.

Plusieurs raisons peuvent avoir influencé la décision initiale de l'équipage de se référer à la coupure du moteur.

La première raison est probablement leur interprétation commune de la procédure FUEL LEAK. Dans leurs témoignages, les trois pilotes indiquent spontanément que la coupure du moteur en croisière avait pour objectif principal de préserver les quantités de carburant dans l'hypothèse où la trajectoire le requiert, c'est-à-dire lors d'un survol océanique ou désertique.

Ainsi, lors de l'événement, la préservation du carburant n'a pas été jugée nécessaire, comme l'indique la phrase du CDB : « *Il nous restera... De toute façon douze tonnes... quinze tonnes... plus éventuellement l'arrière... On a le temps d'aller jusqu'à N'Djamena...* ». La coupure du moteur semblait avoir ainsi perdu son sens opérationnel.

De surcroît, dans ce même contexte, la coupure du moteur n'était perçue comme nécessaire que pour éviter l'arrêt du moteur par assèchement, ce qui a été rappelé par le CDB comme risque principal lors du briefing TEM sur les menaces liées à l'approche.

Cette décision a probablement été confortée par l'observation de paramètres normaux, malgré la confirmation visuelle de la fuite en descente par les techniciens, ainsi que par la latitude laissée par la procédure FUEL LEAK de rallumer le moteur en cas de fuite de réservoir d'aile.

La deuxième raison est probablement une forme d'appréhension partagée à couper le moteur en vol, notamment de nuit, au-dessus du continent africain, dans un contexte de restrictions sanitaires et de couvre-feu.

Les témoignages des pilotes ainsi que leurs conversations semblent confirmer que la coupure du moteur et le déroutement ont été régulièrement perçus comme un changement de projet d'action menaçant. Le CDB l'a exprimé à plusieurs reprises « *si l'on coupe, ça commence à être gros* », « *le risque c'est qu'on va se retrouver sur un seul moteur et qu'il va falloir se dérouter* », « *se retrouver sur un seul moteur n'est pas non plus une situation super sympa* ». Dans son témoignage, le copilote évoque l'existence d'une barrière psychologique à couper un moteur en vol et le copilote suppléant s'est dit « *soulagé* » par la décision du CDB de ne pas couper le moteur.

Ainsi, à chaque fois que la décision de coupure du moteur a été évoquée, les arguments en faveur de la décision initiale – c'est-à-dire le maintien du moteur en fonctionnement – ont été privilégiés : en croisière, la coupure ne serait utile que dans un unique but d'anticipation (pour qu'il ne s'arrête pas tout seul) - *il n'est pas écrit dans la procédure qu'il faut impérativement le couper* – au cours de l'approche, le couper pourrait conduire à une remise des gaz et finalement au sol, l'environnement est hostile pour un demi-tour sur un seul moteur.

Il apparaît que la coupure du moteur ne pouvait se justifier que dans la mesure où elle évitait l'arrêt spontané du moteur par assèchement, ceci d'autant que le risque d'incendie en vol n'était pas pris en compte : « *A priori ce n'est pas écrit dans la check qu'il faut impérativement le couper... il n'y a pas de notion de possibilité de feu* ».

Dans son témoignage, interrogé sur la gestion d'un incendie, le CDB indique que si un incendie s'était déclaré, l'équipage aurait appliqué la procédure ENGINE FIRE.

L'exploitation du CVR permet de mettre en lumière qu'en croisière, aucun des membres d'équipage n'a remis en question la déviation à la procédure FUEL LEAK, notamment la coupure du moteur.

Il est possible que les comportements attendus « *Sait s'écarte des procédures en concertation équipage lorsque la sécurité l'oblige* » et « *improvise face à l'imprévisible pour obtenir le résultat le plus sûr* » mentionnés dans la partie D du manuel d'exploitation d'Air France reflètent une culture de sécurité dans une partie de la population des personnels navigants qui valorise un comportement équipage capable de s'écarte facilement des procédures. La formulation de ces comportements attendus diffère notablement de celle mentionnée dans la réglementation européenne et en particulier le moyen de conformité (AMC) relatif à l'Evidence Based Training. Il est possible que ces différences de formulation de la documentation Air France contribuent à entretenir une forme de tolérance vis-à-vis des déviations aux procédures chez certains équipages.

Enfin, plusieurs facteurs pourraient avoir également contribué à l'écart constaté par rapport à la procédure FUEL LEAK :

- **Le format de la documentation**

Le format papier de la procédure QRH FUEL LEAK pourrait avoir contribué à l'absence de remise en cause de la décision initiale. En effet, l'équipage indique, en entretien, qu'il considère le format papier comme moins « *contraignant* » que le format électronique ECAM. De plus, le format à « *tiroirs* », demande une certaine analyse de la situation par l'équipage.

- **Les limitations de la formation au simulateur**

Le vol monomoteur ne présentant aucun risque lors des entraînements au simulateur, ceux-ci ne permettent pas de sensibiliser les équipages à leur propre degré d'aversion au risque du vol monomoteur en conditions réelles.

2.4 Leadership et travail en équipage²⁵

On observe ainsi une sorte de persistance de l'équipage dans la décision initiale, les risques associés à la solution choisie étant sous-estimés tandis que ceux liés à la solution alternative sont majorés.

La décision apparaît au premier abord comme collective. Toutefois l'écoute du CVR et certains éléments des témoignages peuvent faire penser à un faux consensus, notamment en approche et au sol, et à un possible effet de groupe. Lors de la préparation de l'approche, le CDB indique au copilote que la décision de couper le moteur lui appartient « *la décision est tienne* », cependant il conclut la discussion en optant pour garder le moteur. En descente le CDB pose la question du risque à maintenir le moteur en fonctionnement, sans laisser le temps aux copilotes de répondre car c'est lui qui apporte immédiatement la réponse en indiquant qu'il n'est pas écrit dans la procédure que la coupure est impérative et que la possibilité d'un incendie n'y est pas mentionnée.

²⁵ Le leadership est analysé dans ce paragraphe au travers des comportements observables de cette compétence (voir § 1.17.4).

La propension du CDB à s'exprimer en tout premier lieu, de façon répétitive, n'a pas favorisé l'expression des avis et doutes des copilotes notamment dans leur proposition de couper le moteur juste après l'atterrissage et lorsqu'ils évoquent le risque d'incendie.

La communication apparaît ainsi faussement ouverte dans la mesure où le CDB apporte souvent les réponses à ses propres questions sans prendre en compte les suggestions émises par les copilotes. Pour leur part, hormis sur la sortie des reverses, les copilotes ne parviennent pas à faire valoir leur point de vue notamment sur le risque d'incendie au sol ni à obtenir du CDB qu'il se positionne sur le moment où il envisage de couper le moteur.

Dans cette situation considérée comme menaçante, la recherche de consensus au sein du groupe, et donc la recherche de maintien de cohésion de groupe, a prévalu sur l'évaluation objective des alternatives.

Bien que la procédure QRH doive être appliquée en « read and do », telle une procédure ECAM, il est possible que le format papier de la procédure QRH n'ait pas favorisé la remise en cause de la décision. En effet, un message ECAM peut être plus facilement perçu comme une demande d'un acteur extérieur – en l'occurrence l'avion –, offrant ainsi une alternative à la pensée de groupe.

2.5 Risque d'incendie lors de l'événement

Au cours de l'événement, un risque d'incendie important existait, d'autant que le compartiment du moteur dans lequel a eu lieu la fuite est une zone chaude, où les surfaces du moteur dépassent souvent la température d'auto-inflammation du carburant.

La bride supérieure de la tuyauterie principale de carburant est située au-dessus d'un bac de récupération conçu pour recueillir les petites fuites éventuelles et les évacuer vers le mât de drainage du moteur situé au bas de la nacelle. Ce moyen de drainage n'est pas dimensionné pour une fuite de carburant aussi importante. Par conséquent, le bac de récupération a très probablement débordé et le carburant a été projeté sur les surfaces chaudes du moteur. En cas de débordement du bac de récupération, le carburant peut s'évacuer par l'arrière de la nacelle avec le flux d'air en vol. Au sol, le carburant est drainé par des canalisations en bas de la nacelle.

Le risque d'inflammation du carburant dépend du débit de la fuite, de la pression de l'air et du flux de ventilation de la zone. Ces conditions varient en fonction de la phase de vol. Le risque d'auto-inflammation est d'autant plus élevé que la vitesse et/ou l'altitude diminuent. À la fin du vol, les conditions de pression, température, et ventilation étaient favorables à l'auto-inflammation du carburant.

Bien qu'il soit difficile d'en faire la démonstration formelle, car le niveau d'atomisation du carburant et le flux d'air dans le moteur, notamment en approche et au sol, n'ont pas pu être déterminés avec précision, l'hypothèse la plus probable selon le constructeur est que le flux important de carburant et l'espace restreint de la nacelle ont eu pour résultat une concentration en carburant trop élevée pour s'enflammer.

Cette information n'était pas connue ni maîtrisable de la part de l'équipage.

2.6 Perception du risque d'incendie par l'équipage

En vol

Lors de la croisière, le risque incendie n'a pas été considéré par l'équipage. Les témoignages des pilotes ainsi que l'analyse du CVR montrent que plusieurs raisons ont été avancées pour tenter de justifier ce point de vue : la normalité des paramètres moteur ; le fait que, comme l'incendie ne s'était pas déclaré immédiatement, l'équipage jugeait peu probable qu'il se déclare par la suite ; le constat que le carburant s'écoulait sous le moteur et en aval de celui-ci, loin des parties chaudes. Lors de la descente, l'alerte advisory **FUEL IMBALANCE** a néanmoins suscité une interrogation du CDB sur le danger à conserver le moteur en fonctionnement, à laquelle il a lui-même répondu en verbalisant son interprétation de la procédure FUEL LEAK « *ce n'est pas écrit dans la check qu'il faut impérativement le couper... il n'y a pas de notion de possibilité de feu* ». Les deux copilotes ont abondé dans le sens de cette affirmation. L'équipage était alors toujours dans une logique que les quantités de carburant restantes étaient telles que la coupure du moteur n'était pas nécessaire pour atteindre l'aéroport de déroutement.

Le risque d'incendie en vol lors des phases de descente et d'approche n'a pas été mentionné ni jugé différent de celui de la croisière par l'équipage. Le risque d'incendie lors de la remise des gaz n'a pas été évoqué lors du briefing arrivée.

Au sol

Le risque d'incendie du moteur au sol a été clairement explicité par le copilote, en descente, lors du briefing arrivée.

Le copilote suppléant a pour sa part, suggéré de couper le moteur 1 avant le demi-tour. Il a également persévéré en exigeant l'application de la procédure FUEL LEAK ligne « REVERSERS DO NOT USE », sans néanmoins verbaliser le risque d'incendie, dont il avait conscience, lors la sortie des *reverses*. La claire connaissance de ce risque, évoqué en entretien, l'a incité à persévéérer jusqu'à obtenir l'accord du CDB.

Juste après l'atterrissement, le copilote suppléant a de nouveau demandé si la coupure moteur était envisagée. Le CDB a, pour sa part privilégié le demi-tour sur la raquette avec le moteur gauche en fonctionnement, ce qui indique de sa part, la perception d'un risque faible.

L'enquête a montré un écart important entre la perception par l'équipage du risque d'inflammation du carburant et le risque réel, tel qu'il résulte de l'observation du cheminement interne de la fuite, et d'événements antérieurs, notamment lors des phases d'approche et de roulage au sol.

Cet événement montre l'écart entre la perception individuelle du risque, fondée sur l'expérience professionnelle d'un équipage, et la réalité des faits (voir § 1.18.5). Ainsi, la procédure opérationnelle FUEL LEAK reflète l'analyse de risque approfondie du constructeur et du cumul d'expérience en service des constructeurs et des exploitants.

2.7 Processus décisionnel et déroutement

Le départ du CDB pour son repos, alors qu'il doutait des jaugeurs, a de facto écarté toute possibilité de discussion relative à un éventuel retour sur Brazzaville. Il s'est ensuite écoulé environ 30 minutes entre la détection initiale de la fuite de carburant et le début de la procédure FUEL LEAK avec l'équipage au complet. Pendant l'absence du CDB, les copilotes avaient commencé à évaluer la situation météorologique sur les aéroports de déroutement qu'ils envisageaient (F du schéma décisionnel FORDEC).

Les discussions de l'équipage sur la pertinence de la procédure FUEL LEAK et de la coupure du moteur ont ensuite entraîné un délai de décision supplémentaire de 30 minutes.

La durée et la structure du processus décisionnel de l'équipage ont contribué à rallonger de façon significative le temps de vol alors que la situation requérait d'envisager l'atterrissage sur l'aéroport adéquat le plus proche, comme le prévoit la procédure FUEL LEAK (ligne **LAND ASAP**). Durant cette phase, l'aéroport de Yaoundé était le plus proche de la trajectoire.

Par ailleurs, le FORDEC a débuté alors que la panne n'était pas traitée et que la situation technique n'était pas stabilisée, perturbant la conscience de la situation de l'équipage.

La collecte insuffisante des faits, prévue comme action initiale de ce processus, n'a pas permis à l'équipage d'évaluer de façon exhaustive les deux options de déroutement Yaoundé ou N'Djamena :

- l'aéroport de Yaoundé, réglementairement prévu comme déroutement « en route » sur le plan de vol, présentait des marges de sécurité opérationnelles supérieures à celui de N'Djamena : les conditions météorologiques étaient satisfaisantes, l'approche pouvait y être réalisée à l'aide d'un ILS sur la piste 19, la longueur de piste était de 3 402 m et n'occasionnait aucune forme de limitation à l'atterrissage. L'équipage voyait comme un inconvénient le fait qu'aucun des pilotes ne connaisse cet aéroport et qu'il soit une escale 777 et non A330 ;
- l'aéroport de N'Djamena, était pour sa part doté d'une piste plus limitative, officiellement 2 410 m, même si les 390 m de seuil décalé pouvaient être utilisés pour rouler afin de faire demi-tour sur la raquette en bout de piste en cas d'atterrissage en piste 23. De surcroît, l'ILS et le PAPI de la piste 05 étaient hors service.

Au regard du moment de la prise de décision, l'avion ayant dépassé le point équitemps entre Yaoundé et N'Djamena, ce dernier aéroport s'est imposé comme la seule option possible. Le choix de celle-ci s'est alors effectué sans que les informations relatives aux conditions opérationnelles et techniques de l'aéroport de N'Djamena ne soient connues. La décision de l'équipage s'est principalement fondée sur le fait que les pilotes connaissaient cet aéroport, et qu'ils le considéraient comme plus sûr en raison de la présence militaire de l'autre côté de la piste. L'équipage s'est ainsi placé dans une situation subie et il a découvert des faits alors que la descente était déjà débutée.

Le seul choix de l'équipage concernait celui du QFU (piste 05 ou 23) et de la configuration atterrissage.

Or, ces deux QFU présentaient des risques opérationnels :

- en piste 23, il existait des conditions de fort vent arrière jusqu'à la très courte finale, augmentant la possibilité d'une remise des gaz ;
- en piste 05, la longueur de piste aurait été fortement limitative (atterrissage au seuil décalé). De surcroît, l'équipage anticipait des difficultés liées au fait que le point d'aboutissement de l'approche RNAV se situait au seuil « habituel » et non au seuil décalé.

L'équipage a donc choisi d'atterrir en piste 23, opérationnellement la plus longue, mais avec une composante de vent arrière forte. Bien que ce dernier ait eu conscience du vent arrière en finale et l'ait verbalisé, il a choisi de se configurer volets 3²⁶ et non *full* afin de se préparer à l'éventualité de la perte du moteur avant l'atterrissage. La remise des gaz n'a pas été « briefée » : l'équipage n'a pas verbalisé sa stratégie en cas de remise des gaz : passer les deux moteurs en TOGA ou réduire le moteur 1 en raison de la fuite et suivre le profil de vol monomoteur.

L'étude du risque d'incendie conduite dans le cadre de cet événement indique que ce risque d'incendie en cas de remise des gaz était très élevé, ce dont l'équipage n'avait pas conscience.

Il est possible que dans une forme de stress, en conditions opérationnelles réelles, l'équipage ait tenté de simplifier le processus décisionnel, en se dirigeant vers un aéroport connu et jugé plus rassurant. Il a pu ainsi tenter de simplifier les tâches, et limiter sa charge de travail au seul déroulement, à l'exclusion des problématiques liées au vol monomoteur.

²⁶ Configuration requise en cas d'atterrissage monomoteur.

3 CONCLUSIONS

3.1 Faits établis par l'enquête

- L'équipage détenait les licences et qualifications nécessaires pour effectuer le vol.
- La composition équipage était conforme aux procédures de l'exploitant.
- L'avion avait un certificat de navigabilité en état de validité ; il était entretenu conformément à la réglementation.
- L'avion était sorti de visite Interruption Longue le 30 septembre 2020. L'entretien, au cours duquel les deux moteurs avaient été déposés, a été réalisé dans un atelier sous-traitant d'Air France, à Xiamen (Chine).
- Aucune fuite n'avait été constatée après le remontage.
- L'avion avait effectué six vols entre la date de remise en service et le vol de l'événement.
- Aucune fuite de carburant n'avait été détectée par l'équipage lors de la visite pré-vol avant le décollage.
- L'équipage a effectué les vérifications croisière 35 minutes après le décollage et a constaté une perte de 1,4 tonne de carburant.
- Les paramètres moteur ne montraient aucune anomalie.
- Le commandant de bord a quitté le poste de pilotage après les vérifications croisière pour son tour de repos après avoir détecté un écart d'environ 1,4 t et en demandant au copilote et au copilote suppléant de surveiller les quantités de carburant.
- L'équipage a commencé à appliquer la procédure FUEL LEAK environ 30 minutes après la détection initiale et après que le commandant de bord a été rappelé dans le poste de pilotage par les copilotes.
- Le commandant de bord a décidé de ne pas couper le moteur 1 contrairement à ce que demandait l'application de la procédure FUEL LEAK. Cette décision n'a pas été remise en cause par les copilotes.
- L'équipage a estimé que le risque d'incendie en vol avec le moteur en fonctionnement était faible.
- L'option d'un demi-tour sur Brazzaville n'a pas été considérée. L'option d'un déroutement sur Yaoundé n'a pas été retenue par l'équipage.
- L'équipage n'a pas envisagé d'atterrir dès que possible, comme le prévoit la procédure FUEL LEAK.
- Un NOTAM précisait qu'à N'Djamena l'ILS 05 était hors service et en raison d'un seuil décalé en piste 05, la longueur de piste officielle était de 2 410 m sur les deux QFU 05 et 23°.
- L'équipage a pris connaissance du NOTAM sur N'Djamena après avoir choisi cet aéroport comme déroutement et débuté la descente.
- L'équipage a choisi d'effectuer une approche RNAV en piste 23.
- À 3 000 ft en finale, l'avion était configuré pour l'atterrissement, volets en position 3, avec tous les automatismes engagés.
- La composante maximum de vent arrière était de 28 kt, à une hauteur 610 ft.
- À une hauteur de 500 ft, la vitesse était supérieure de 5 kt à la vitesse d'approche (VAPP) recommandée et la composante de vent arrière de 21 kt.
- Le toucher des roues des trains principaux a eu lieu 550 m après le seuil de piste 23, à VAPP+8 avec une composante de vent arrière de 9 kt.
- Une alarme du système de prévention contre les sorties de piste (ROPS) s'est déclenchée lors de l'atterrissement.
- Ce système ne prenait pas en compte la distance d'atterrissement officielle en raison d'une absence de prise en compte de la réduction de la longueur de piste signalée par NOTAM.

- Le freinage a été appliqué conformément à la procédure en cas d'alarme ROPS.
- La température des freins a augmenté jusqu'à 600 °C.
- Le service de sécurité incendie de l'aéroport de niveau 8, était en adéquation avec un avion de type A330.
- Le constructeur indique que la forte saturation de l'air en carburant dans la zone du moteur a probablement empêché le développement de l'incendie en approche ou au sol.
- Le service de sécurité incendie de l'aéroport n'a pas identifié la fuite lors du roulage de l'avion sur la piste après l'atterrissage.
- L'équipage a effectué le demi-tour sur la raquette au bout de la piste 23 tous moteurs en fonctionnement. Un régime N1 de 40 % sur le moteur 1 a été enregistré lors du demi-tour.
- Le moteur 1 a été coupé 3 minutes après l'atterrissage.
- Le moteur 2 a été coupé 13 minutes après l'atterrissage.
- Une fois l'avion au parking, 13 minutes après l'atterrissage, les pompiers ont commencé à déverser de l'eau sous le moteur 1.
- La fuite de carburant a été localisée au niveau de la bride supérieure de la tuyauterie principale de carburant du moteur 1.
- La fuite de carburant s'est établie à 5,7 t pour un vol de 2 h 21.

3.2 Facteurs contributifs

Alors que la fuite a bien été identifiée puis localisée au niveau du moteur gauche, décision a été prise par l'équipage de maintenir ce moteur en fonctionnement contrairement à la procédure FUEL LEAK. La coupure de celui-ci a été effectuée au roulage après l'atterrissage soit plus d'1 h 20 plus tard. La coupure du moteur a pour but de préserver le carburant dans le réservoir associé, mais également d'empêcher l'écoulement et la dispersion du carburant dans des zones potentiellement dangereuses. Le risque d'incendie a été sous-estimé par l'équipage en partie parce qu'il n'était pas clairement indiqué dans la procédure correspondante ni dans les manuels complémentaires. L'application partielle de la procédure FUEL LEAK par l'équipage a contribué à dégrader le processus décisionnel, en fermant notamment des options de dégagement plus proches de la route, et a résulté dans le choix d'un déroutement à N'Djamena, où les infrastructures et les conditions météorologiques n'étaient pas optimales.

Ont contribué à la survenue de la fuite de carburant

- La conception de la bride.
- Les difficultés intrinsèques de montage de la bride.
- Les difficultés à vérifier la réalisation adéquate du montage de la bride.
- L'utilisation de l'ancien modèle de bride, qui rendait possible un mauvais montage et la survenue de fuite importante.

Ont contribué à diminuer la marge de sécurité du vol, notamment vis-à-vis du risque incendie

- L'application partielle par l'équipage de la procédure FUEL LEAK relative à la gestion d'une fuite carburant.
- Une compétence de leadership et de travail en équipage inadéquate, probablement liée à une recherche excessive de consensus et à un possible effet de groupe.
- L'absence de mention du risque d'incendie dans la documentation du constructeur.
- La sélection de l'aérodrome de N'Djamena pour le déroutement alors que d'autres aérodromes adaptés étaient plus proches de la route.

A contribué à limiter le risque d'incendie

- L'intervention du copilote de renfort qui a rappelé que, conformément à la procédure FUEL LEAK, les inverseurs de poussée ne devaient pas être sortis, même au ralenti.

A contribué à la sécurité du vol après l'atterrissage

- La préparation cabine réalisée par la cheffe de cabine principale en vue d'une possible évacuation.

4 MESURES DE SÉCURITÉ PRISES DEPUIS L'OCCURRENCE

4.1 Mesures de sécurité prises par Airbus

4.1.1 Mesures techniques

Airbus a pris l'action de publier un *service bulletin* recommandant le remplacement de la bride supérieure de la tuyauterie principale par un nouveau modèle au prochain démontage. Airbus a également collaboré avec Collins Aerospace à la publication d'un message à tous les exploitants (AOL) qui met en garde contre la possibilité d'une mauvaise installation de l'ancien modèle et ses conséquences, et explique les avantages du nouveau modèle. Cet AOL²⁷ a été publié par Collins Aerospace le 20 octobre 2021. La publication du *service bulletin* est prévue fin 2022.

4.1.2 Mesure sur la documentation opérationnelle

Airbus a mis à jour les informations du FCTM concernant les risques d'incendie en cas de fuite carburant si celle-ci provient du moteur, et lors de l'extension des reverses, en avril 2022 sur la flotte A350 et A380 et en mai 2022 sur les flottes A320, A330 et A340. Ces mises à jour seront indiquées dans le document *change summary*, disponible pour tous les exploitants sur Airbus world.

AIR FRANCE  A330/A340 FLIGHT CREW TECHNIQUES MANUAL	PROCEDURES ABNORMAL AND EMERGENCY PROCEDURES FUEL
--	--

■ **If the fuel leak is not confirmed coming from the engine/pylon or if the leak is not located:**

- Isolate each tank: Maintain the cross-feed valve closed and switch off the center pumps. Each wing tank feeds the associated engine.
- If the fuel quantity decreases faster in one wing tank than in the other wing tank, the fuel leak is identified as coming from one wing tank. In this case, the associated engine is shut down in order to confirm if the leak comes from the wing tank or from the engine.
- If the fuel quantity symmetrically decreases in both wing tanks and the fuel quantity in the center tank decreases, the fuel leak comes from the center tank or the APU feed line.

If the flight crew confirms that the fuel leak comes from the engine/pylon, the flight crew must shut down the engine in order to:

- Stop the leak
- Prevent fire hazard due to fuel leaking into the hot surfaces of the engine.

During landing, the thrust reversers significantly modify the air flow around the aircraft. The flight crew must not use the thrust reversers in order to prevent contact between fuel and hot surfaces of engines or brakes.

Enfin, Airbus développera une vidéo spécifique "FUEL LEAK procedure" sur le [site WIN](#) à l'attention des instructeurs.

²⁷ PUB0003606 Rev. 00

4.2 Mesures de sécurité prises par Air France

4.2.1 Mesures techniques

À la suite de l'événement, Air France a initié le remplacement des brides d'ancien modèle à l'occasion de tous les prochains remplacements ou démontages de la tuyauterie, sans attendre l'épuisement des stocks de l'ancien modèle.

Une formation pratique récurrente des techniciens, dont ceux du centre HAECO de Xiamen, a été mise en place sur le montage particulier de cette tuyauterie.

4.2.2 Mesures opérationnelles

L'exploitant a indiqué avoir pris les mesures suivantes :

- Parution d'un bulletin « Safety First » sur le thème des fuites de carburant ;
- Recommandation « Respect des SOP ».

L'équipe d'enquête interne à Air France a recommandé à la Direction de la Formation d'imaginer des messages spécifiques permettant une meilleure adhésion aux procédures, et la prise de conscience de la nécessité de coller au traitement de la panne ;

- Directive « Exercice FUEL LEAK » .

L'équipe d'enquête sollicite les Opérations Aériennes et la Direction de la Formation afin de revoir l'exercice fuite carburant. Il est essentiel de proposer un message pédagogique explicite à l'ensemble des instructeurs, sur chaque type avion, quant aux points clefs de cette check-list, comme cela a déjà été fait sur 777. Il s'agit de donner du sens, déterminer le danger et l'action vitale associée ;

- Directive « Enseignement du FORDEC »

L'équipe d'enquête sollicite les Opérations Aériennes et la Direction de la Formation afin de s'assurer que la méthode FORDEC soit bien déployée pour les pilotes en provenance des filiales d'Air France.

L'exploitant a indiqué avoir également prévu les mesures suivantes :

- **Audit LOSA**

En 2022 Air France a décidé de lancer un audit LOSA de différents métiers de la compagnie, notamment les opérations en vol²⁸.

Un LOSA est un audit de sécurité réalisé par des observateurs des métiers formés. Il permet de relever les erreurs des opérateurs dans leur situation de travail (écart aux procédures), les menaces à l'origine des erreurs ainsi que le comportement humain des acteurs qui ont réalisé ces erreurs. Le LOSA permet de cartographier les axes d'amélioration des métiers tout en analysant les facteurs socio-organisationnels contributeurs des erreurs des acteurs.

- **Évolution du protocole d'analyse des vols (ADV)**

L'exploitant a indiqué au BEA qu'une refonte de son protocole ADV était en cours, dans l'objectif de renforcer le suivi individualisé des équipages. Cette refonte introduit notamment la notion de « self debriefing » et mettra à disposition des pilotes des outils leur permettant d'accéder directement à certaines données issues des vols qu'ils ont effectués.

²⁸ Air France fait appel à « The LOSA Collaborative », qui avait réalisé les premiers audit LOSA en 2011 et 2015.

5 RECOMMANDATION DE SÉCURITÉ

Rappel : conformément aux dispositions de l'article 17.3 du règlement n° 996/2010 du Parlement européen et du Conseil du 20 octobre 2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile, une recommandation de sécurité ne constitue en aucun cas une présomption de faute ou de responsabilité dans un accident, un incident grave ou un incident. Les destinataires des recommandations de sécurité rendent compte à l'autorité responsable des enquêtes de sécurité qui les a émises, des mesures prises ou à l'étude pour assurer leur mise en œuvre, dans les conditions prévues par l'article 18 du règlement précité.

Respect des procédures

Les procédures résultent d'une analyse de risque approfondie du constructeur, dont l'hypothèse est qu'elles seront appliquées par l'équipage. Le principe de sécurité prévalant lors de la conception d'une procédure repose sur l'hypothèse que celle-ci sera effectuée au moment adéquat, avec rigueur et dans son intégralité. L'application attendue de la procédure FUEL LEAK permet ainsi à la fois de préserver les quantités de carburant restantes dans les réservoirs et de prévenir le risque d'incendie.

De nombreuses raisons peuvent inciter des équipages à dévier des procédures en conditions opérationnelles, notamment la volonté de simplification d'une procédure jugée trop complexe au regard de la charge de travail, ou l'idée que la déviation profite à la sécurité du vol. Ces déviations ou simplifications se fondent principalement sur l'expérience personnelle de l'équipage, et peuvent parfois résulter de procédures mal comprises, pas toujours explicites ou incorrectement enseignées.

L'enquête a montré que dans le cas de l'événement, la coupure du moteur, prévue dans la procédure FUEL LEAK et faisant l'objet d'entraînements au simulateur, a volontairement été omise par l'équipage.

Cette décision a ainsi créé un risque important d'incendie et entraîné une diminution importante de la marge de sécurité du vol, l'incendie ayant été évité par chance.

Comme l'indique le rapport [Data Report for Evidence Based Training](#) établi par l'Association internationale du transport aérien (IATA), le manque d'adhésion intentionnel aux procédures reste toujours à ce jour pour l'ensemble des compagnies IATA, une source d'un nombre important d'erreurs et d'événements indésirables.

Compte tenu de la structure de l'activité aérienne commerciale en France, notamment le volume des opérations de la compagnie Air France comparé à celui des autres opérateurs français, le BEA est régulièrement amené à enquêter sur des événements survenus au sein de cette compagnie. Au regard des milliers de vols réalisés quotidiennement par Air France, le nombre de vols donnant lieu à des enquêtes reste cependant extrêmement limité et concerne un nombre très réduit d'équipages.

Néanmoins, le BEA a pu observer, au travers d'un certain nombre d'enquêtes récentes présentées ci-dessous, que les équipages concernés avaient pu, pour des raisons diverses, volontairement ou pas, s'affranchir d'effectuer certaines procédures de façon conforme.

Ces événements peuvent avoir des origines diverses : volonté d'optimisation opérationnelle, acceptation d'une déviation fortuite, ou violation d'une procédure. Ils ont pour point commun d'avoir entraîné une réduction des marges de sécurité sans que l'équipage n'en ait réellement eu conscience.

- 28 et 30 mars 2017 : le [rapport d'enquête](#) du BEA sur un double incident des Airbus A318 F-GUGB (vol avec passagers) et A321 F-GTAT (vol de convoyage sans passager), indique que de nombreuses et importantes excursions du domaine de vol opérationnel standard avaient été effectuées de façon volontaire par les pilotes afin de tester les protections en incidence et en assiette des commandes de vol. L'équipage avait ensuite atteint la vitesse maximale en opération 350 kt (VMO), puis appliqué une assiette à cabrer de telle sorte qu'une vitesse verticale de 15 000 ft/mn avait été enregistrée, déclenchant une alerte associée au rapprochement avec un avion potentiellement convergent. Cette violation délibérée des procédures avait entraîné une réduction des marges de sécurité du vol ainsi qu'au sein de l'espace aérien, avec et sans passagers à bord.
- 12 septembre 2020 : le [rapport d'enquête](#) du BEA sur l'incident de l'Airbus A318 F-GUGM indique que l'équipage s'est partiellement affranchi des procédures opérationnelles afin de réaliser une arrivée rapide en piste 25 à Paris-Orly. Il s'est ainsi présenté sur l'ILS à 6 Nm du seuil de piste en configuration lisse à 250 kt. À une hauteur d'environ 1 000 ft, une alarme de rapprochement avec le sol s'est déclenchée au niveau de la position de contrôle. L'approche était déstabilisée et l'équipage a poursuivi jusqu'à l'atterrissement. Lors de l'approche finale, l'équipage avait très peu de ressources pour faire face à un éventuel imprévu et la marge de sécurité du vol était alors dégradée sans que l'équipage n'en ait réellement eu conscience.
- 15 février 2022 : le BEA a ouvert une enquête sur un [incident en vol de l'Airbus A320 F-HEPB](#). L'enquête, bien que toujours en cours, fait apparaître une volonté d'optimisation opérationnelle conduisant à une réduction des marges de sécurité sans que l'équipage n'en ait réellement eu conscience.

Le BEA a conscience que certaines rares situations techniques ou opérationnelles peuvent requérir de l'équipage qu'il fasse preuve de discernement et soit capable de sortir du cadre des procédures lorsqu'il estime que la sécurité l'exige.

C'est notamment le cas dans un contexte de graves dommages, qui entraînent des pannes multiples pour lesquelles les messages des systèmes électroniques de surveillance de panne ou les procédures peuvent être inadaptés ou inapplicables (à titre d'exemple, on peut citer l'[accident de l'Airbus A380 immatriculé VH-OQA exploité par Qantas survenu le 4 novembre 2010 en croisière](#)) ou dans des cas d'extrême urgence (incendie à bord non maîtrisé).

Ce n'était pas le cas des événements précités, ni de celui objet du présent rapport pour lesquels une application conforme des procédures aurait contribué à maintenir un niveau de sécurité adéquat.

Dans ce contexte le BEA s'est interrogé sur la rédaction actuelle des phrases figurant dans le manuel d'exploitation partie D « *sait s'écarte des procédures en concertation avec l'équipage lorsque la sécurité l'exige* » (Application des procédures) et « *Improvise face à l'imprévisible pour obtenir le résultat le plus sûr* » (Résolution de problème et prise de décision), phrases pouvant traduire ou entretenir dans une partie de la population des personnels navigants une culture propice à ce type de déviation, voire pouvant amener des équipages à déroger aux procédures.

La revue des événements précités suggère une certaine culture installée chez certains équipages d'Air France qui favorise une propension à sous-estimer l'apport d'une application stricte des procédures pour la sécurité.

Ainsi le BEA considère qu'Air France devrait remettre le respect des procédures au centre de la culture de sécurité de l'entreprise.

En conséquence, le BEA recommande que :

- *Considérant la récurrence d'enquêtes concernant des événements Air France récemment menées par le BEA qui montrent une adaptation des procédures voire une violation délibérée de celles-ci amenant à une réduction des marges de sécurité ;*
- *Considérant que la culture juste n'accepte pas les déviations volontaires répétées, les négligences graves et les manquements délibérés ;*
- *Considérant que les écarts aux procédures détectés en vol ou au travers de la surveillance des données de vol (FDM) peuvent impliquer des actions fortes globales mais aussi individuelles ;*
- *Considérant que l'autorité de surveillance a indiqué au BEA avoir réalisé des constats comparables au travers de ses contrôles en vol ;*
- *Considérant que l'exploitant a indiqué au BEA une refonte en cours de son protocole d'analyse des vols dans l'objectif de renforcer le suivi individualisé des équipages ;*
- *Considérant que l'exploitant a décidé de mener un audit LOSA transverse à partir de l'automne 2022 ;*

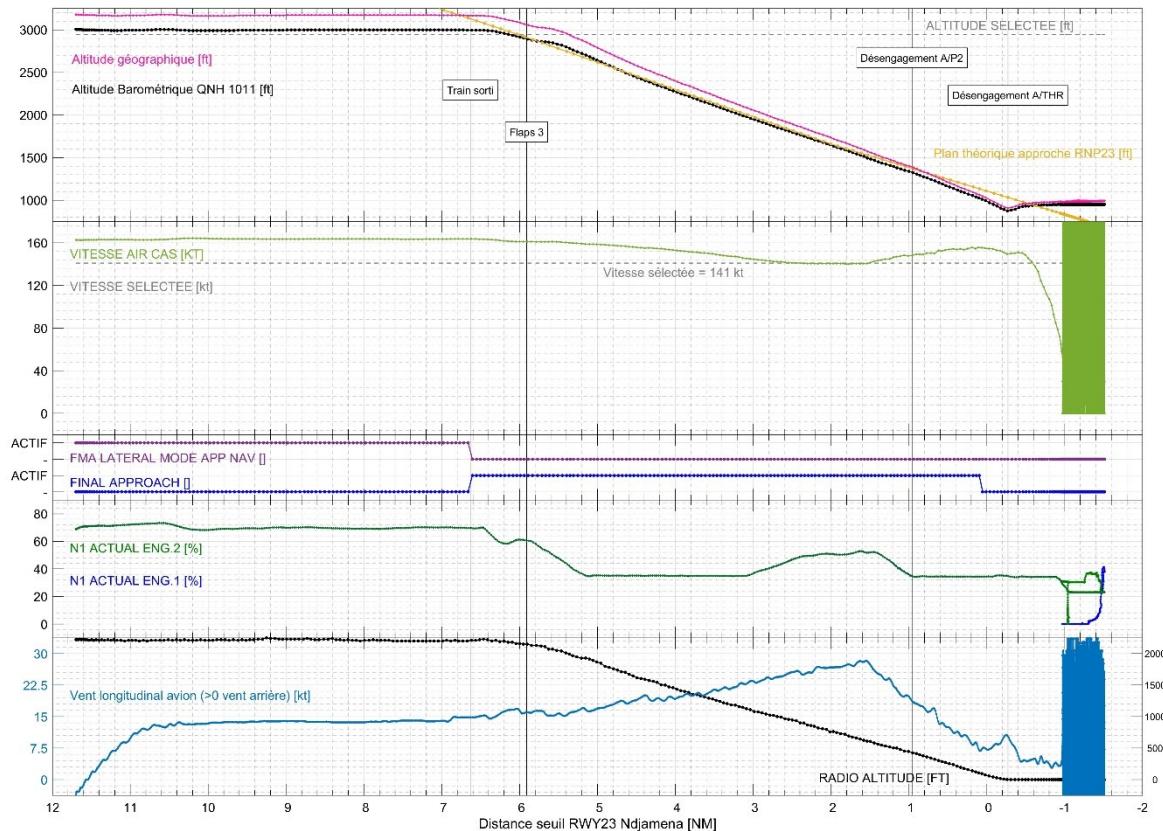
Air France poursuive et étende, si nécessaire, les actions internes entreprises afin de faire évoluer la culture de sécurité dans le sens d'une valorisation d'une application plus stricte des procédures en vol. Ceci pourrait s'appuyer sur un plan d'action global qui pourrait notamment inclure les sujets suivants :

- *l'identification et la gestion individuelle des écarts aux procédures en vol, dans le cadre du FDM et dans un cadre de culture juste ;*
- *la fourniture aux pilotes d'outils pour rejouer et analyser leurs vols et la promotion de l'utilisation de ces outils ;*
- *une évolution du manuel d'exploitation afin de limiter les cas de déviations aux procédures à des circonstances exceptionnelles pour lesquelles les procédures sont inapplicables ou clairement inadaptées ;*
- *l'implication de l'encadrement, des instructeurs et des personnels navigants dans la construction de ces évolutions culturelles.*

[Recommandation FRAN-2022-011]

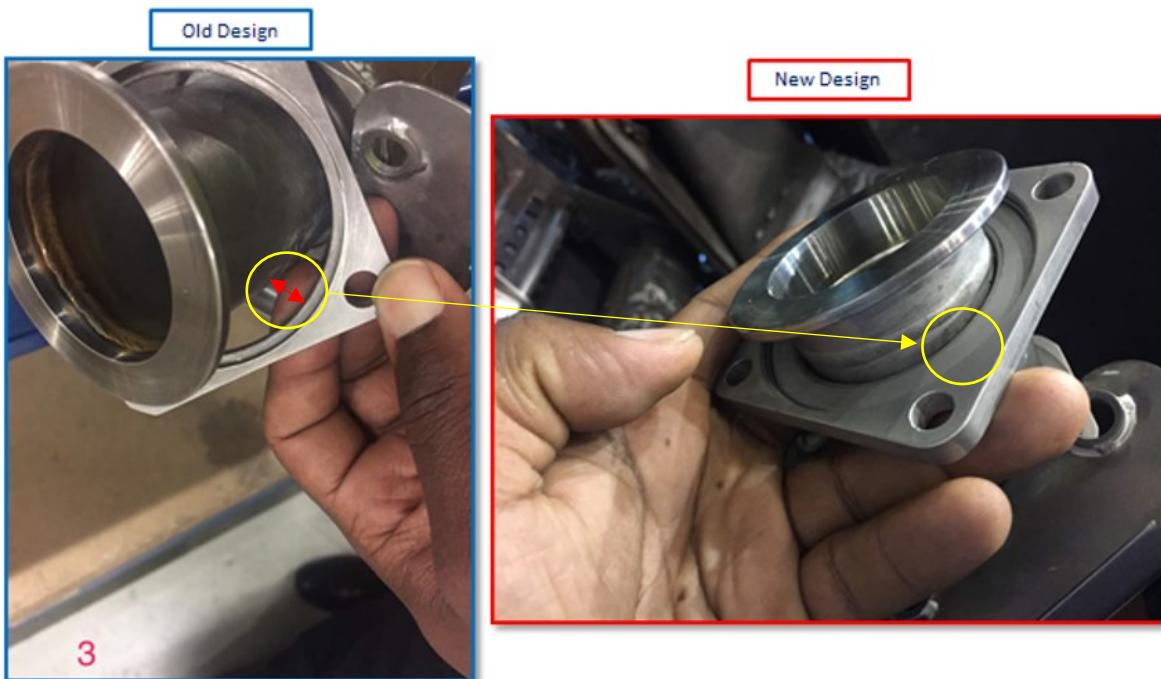
Annexes

Annexe 1 : Paramètres clefs lors de l'approche



Annexe 2 : SPIB 71-046

Ce SPIB introduit un nouveau modèle pour la bride (voir figure ci-dessous). La modification consiste en un rétrécissement du diamètre intérieur de la bride, réduisant fortement le jeu entre celle-ci et le diamètre extérieur de la tuyauterie principale de carburant.



Ancien P/N : AE709962-1

Nouveau P/N : AE709962-503

*Vues de l'ancien et du nouveau modèle de la bride
(Source : Airbus)*

La bride montée sur le F-GZCJ était un ancien modèle.

Ce *SPIB Vendor* est présenté comme une modification mineure. L'AESA, autorité de certification, n'a pas rendu obligatoire cette modification par la publication d'une consigne de navigabilité (AD). Lorsqu'il est nécessaire de remplacer une bride de serrage lors d'une opération maintenance, ce SPIB autorise indifféremment l'utilisation d'une bride d'ancien ou de nouveau modèle, et ce jusqu'à épuisement des stocks de l'ancien modèle. Le SPIB ne contient aucune information sur les raisons de cette modification de conception.

Collins Aerospace indique que la raison initiale de l'émission de ce SPIB était la remontée d'erreurs d'alignement de la tuyauterie principale de carburant. Il ajoute que les valeurs de serrage ont été réduites afin d'empêcher les déformations de la bride.

Le SPIB n'a pas été repris par un Safety Bulletin Airbus ou GE pour informer les opérateurs de la disponibilité de cette pièce de nouveau modèle et demander un remplacement sur aile ou en atelier.

Collins Aerospace indique que depuis 2017, seul le nouveau modèle est fourni à leurs clients, mais seulement 51 ont été vendus entre 2017 et 2021.

Cette pièce étant peu remplacée au cours de la vie de l'avion, la proportion d'ancien et de nouveau modèle de pièce dans les stocks des opérateurs est mal connue. Il est donc possible que les brides de serrage d'ancienne conception continuent d'être montées pendant plusieurs années.

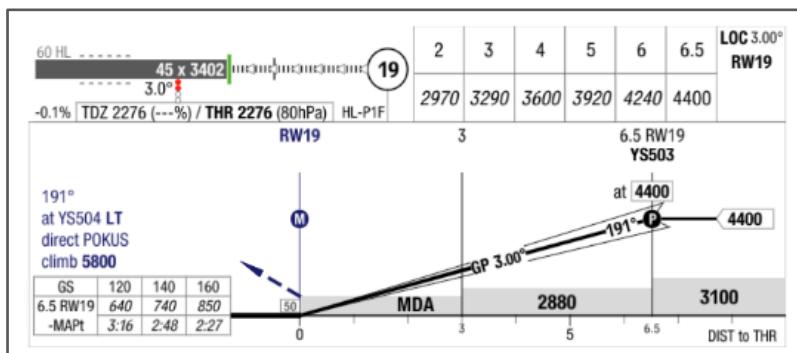
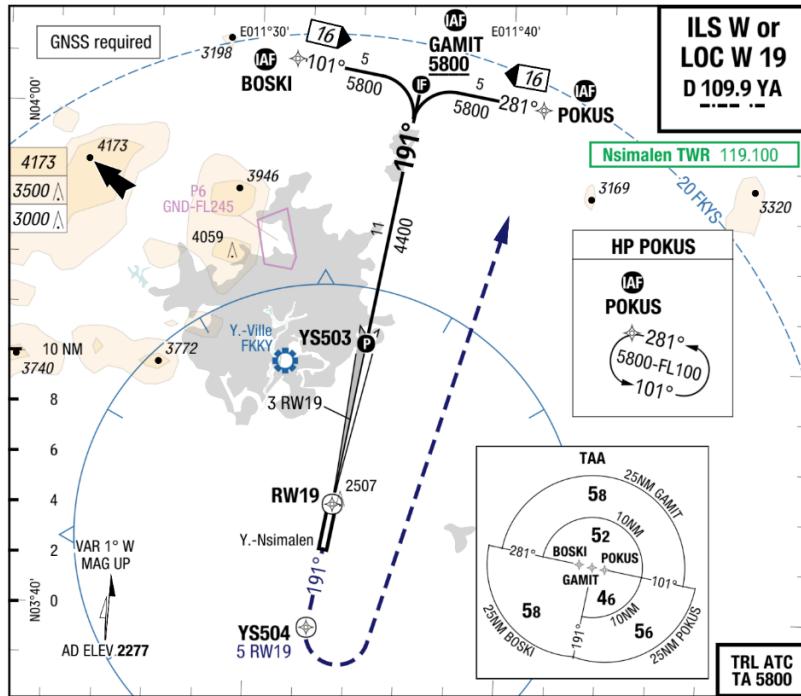
Événements antérieurs de fuites localisées au niveau de la bride de serrage

Airbus rapporte que quatre cas de fuite au niveau de la bride supérieure de la tuyauterie principale de carburant ont été portés à sa connaissance entre 2014 et 2017 sur A330. Tous ces événements impliquent une bride d'ancienne conception. Au moins trois d'entre elles se sont produites peu après le remontage de la bride de serrage.

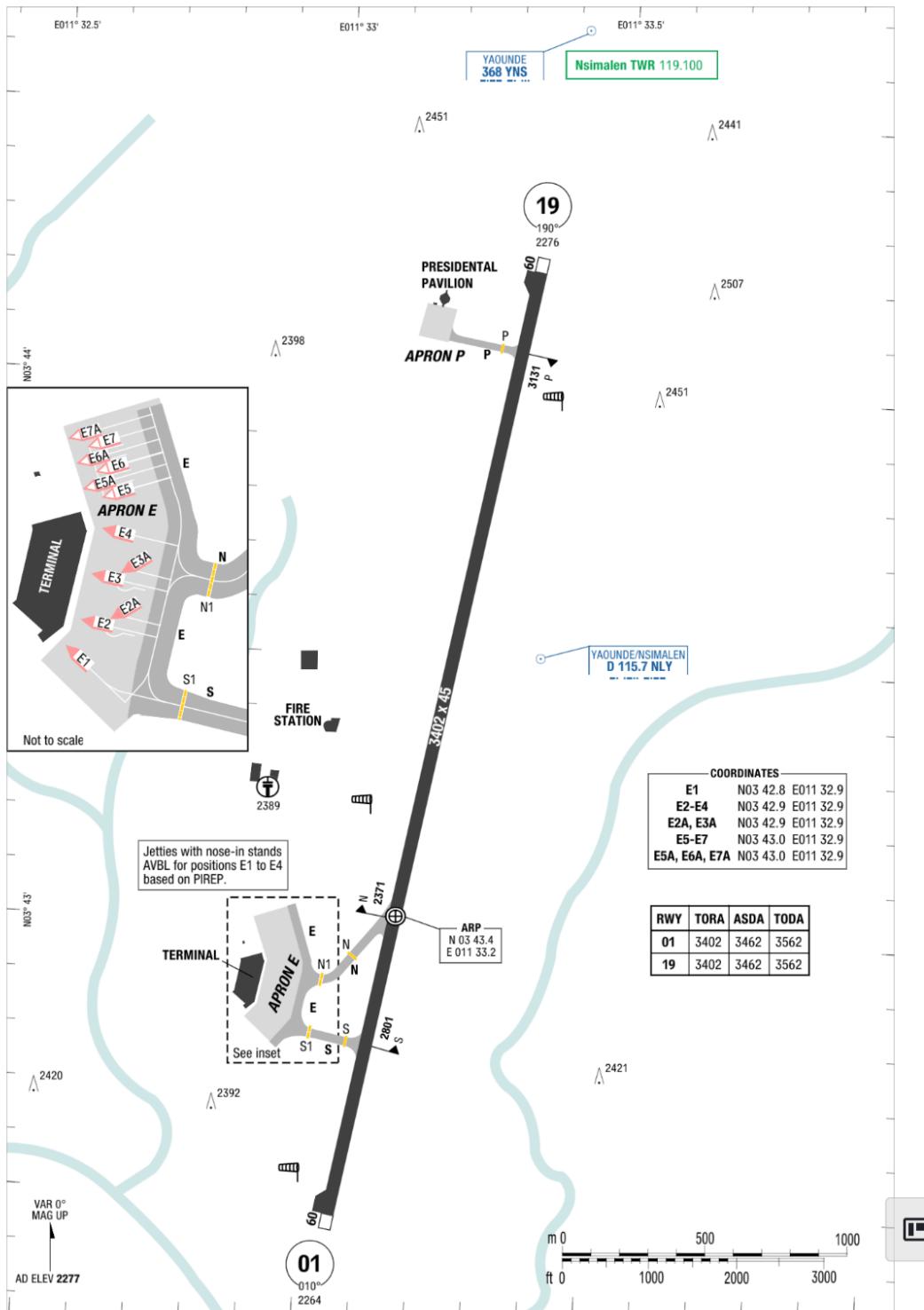
L'une a occasionné l'arrêt commandé d'un moteur en vol, les autres ayant été détectées au sol. Enfin trois fuites se sont produites chez le même exploitant, et la quatrième est apparue après une opération de maintenance chez HAECO en décembre 2015.

Après cela, HAECO a mis en place une formation pour sensibiliser les équipes de maintenance sur la difficulté spécifique du montage de la bride, sans que celle-ci soit récurrente. L'équipe de maintenance ayant procédé au remontage de la tuyauterie en 2020 lors de la visite Interruption Longue du F-GZCJ indique qu'elle avait suivi cette formation en 2016.

Annexe 3 : Cartes d'approche et d'aéroport de Yaoundé



19		Cat 1 1)	LOC				Circling 2)
C	ft - m/km ft	320 - 800 2600	430 - 1.3 2700				690 - 2.4V 2960
D	ft - m/km ft	330 - 800 2610	430 - 1.4 2700				710 - 3.6V 2980



Annexe 4 : AMC1.ORM.FC.231(b) Evidence-Based Training, extrait du règlement européen Air OPS

Application of procedures and compliance with regulations (PRO)	
Description:	Identifies and applies appropriate procedures in accordance with published operating instructions and applicable regulations
OB 1.1	Identifies where to find procedures and regulations
OB 1.2	Applies relevant operating instructions, procedures and techniques in a timely manner
OB 1.3	Follows SOPs unless a higher degree of safety dictates an appropriate deviation
OB 1.4	Operates aircraft systems and associated equipment correctly
OB 1.5	Monitors aircraft systems status
OB 1.6	Complies with applicable regulations
OB 1.7	Applies relevant procedural knowledge

Problem-solving — decision-making (PSD)	
Description:	Identifies precursors, mitigates problems, and makes decisions
OB 6.1	Identifies, assesses and manages threats and errors in a timely manner
OB 6.2	Seeks accurate and adequate information from appropriate sources
OB 6.3	Identifies and verifies what and why things have gone wrong, if appropriate
OB 6.4	Perseveres in working through problems whilst prioritising safety
OB 6.5	Identifies and considers appropriate options
OB 6.6	Applies appropriate and timely decision-making techniques
OB 6.7	Monitors, reviews and adapts decisions as required
OB 6.8	Adapts when faced with situations where no guidance or procedure exists
OB 6.9	Demonstrates resilience when encountering an unexpected event

Leadership & teamwork (LTW)	
Description:	Influences others to contribute to a shared purpose. Collaborates to accomplish the goals of the team
OB 5.1	Encourages team participation and open communication
OB 5.2	Demonstrates initiative and provides direction when required
OB 5.3	Engages others in planning
OB 5.4	Considers inputs from others
OB 5.5	Gives and receives feedback constructively
OB 5.6	Addresses and resolves conflicts and disagreements in a constructive manner
OB 5.7	Exercises decisive leadership when required
OB 5.8	Accepts responsibility for decisions and actions
OB 5.9	Carries out instructions when directed
OB 5.10	Applies effective intervention strategies to resolve identified deviations
OB 5.11	Manages cultural and language challenges, as applicable

Annexe 5 : Performances dans les conditions réelles de l'atterrissement

