

Incident du l'Airbus A319
immatriculé **F-GRHT**
survenu le 12 mars 2014
à Paris - Charles de Gaulle

⁽¹⁾Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure en temps universel coordonné (UTC).

Heure	Vers 13 h 42 ⁽¹⁾
Exploitant	Air France
Nature du vol	Transport Commercial de passagers
Personnes à bord	Commandant de bord (PF) ; copilote (PM) ; 3 PNC ; 79 passagers
Conséquences et dommages	Aucun dommage

Défaillance du calculateur de gestion et d'indication de carburant, avitaillement carburant insuffisant et arrêt d'un moteur en descente

1 - DÉROULEMENT DU VOL

Note : Le déroulement du vol ci-dessous a été établi à partir des enregistrements CVR, FDR et des témoignages de l'équipage.

Dans la matinée du 12 mars 2014, un équipage effectue les deux premières étapes d'une rotation qui en comporte quatre entre Marseille et Nantes. À Marseille, lors du roulage du début de la troisième étape, il inscrit dans l'ATL⁽²⁾ que l'indication de quantité de carburant à bord (FOB⁽³⁾) est inférieure de 300 kg à ce qui était attendu. À Nantes, une équipe de maintenance effectue un test qui révèle qu'une sonde, localisée dans le réservoir extérieur gauche, est défectueuse. Son remplacement est programmé à une date ultérieure et l'avion est remis en service. Le vol suivant à destination de Marseille se déroule normalement.

À Marseille, après l'arrêt des moteurs de la dernière étape de sa rotation, l'équipage calcule une différence (noté Δ ⁽⁴⁾ dans l'ATL) de 20 kg entre :

- la quantité de carburant correspondant à la somme de la quantité de carburant utilisée pendant l'étape (information fournie par les totalisateurs et notée **T** dans l'ATL) et le FOB) (information fournie par les jaugeurs et notée **J** dans l'ATL) et
- la quantité de carburant théorique au départ (calculée au départ de l'étape par l'équipage et notée **D**).

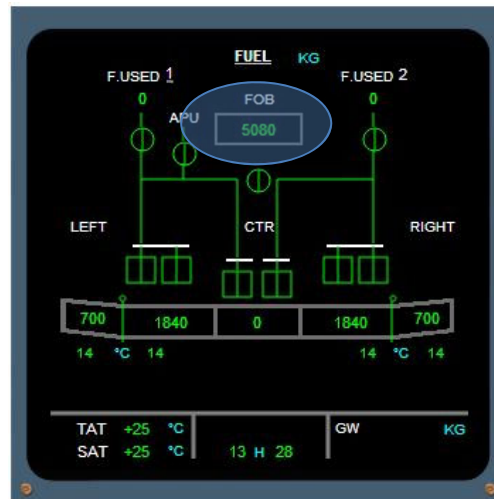
En réalité, cette différence est de 880 kg.

⁽²⁾Aircraft Technical Log.

⁽³⁾Fuel On Board.

⁽⁴⁾Cf. 2.2.1 Suivi carburant et remplissage de l'ATL (en vigueur au moment de l'incident).

L'équipage suivant doit effectuer une rotation au départ de Marseille avec quatre étapes. Lors de la préparation du vol, il prend connaissance de la plainte notée dans l'ATL par l'équipage précédent et relative à la fluctuation de l'indication de carburant. Pour la première étape, l'équipage décide d'un emport de 5 000 kg de carburant. Comme l'ATL et les jaugeurs de l'avion indiquent un FOB de 3 780 kg (J), l'équipage demande un complément de carburant de 1 200 kg. L'équipage vérifie la quantité avitaillée et s'assure de la répartition normale du carburant dans les réservoirs. L'équipage indique que les réservoirs extérieurs sont pleins. Les jaugeurs de l'avion indiquent un FOB, de 5 080 kg.



⁽⁵⁾System Display.

Figure 1 : reconstitution de la page FUEL du SD⁽⁵⁾ après l'avitaillement

L'équipage décolle à 12 h 41 à destination de Paris - Charles de Gaulle. Les jaugeurs de l'avion indiquent un FOB de 4 950 kg au moment du décollage. Le Commandant de bord, PF, constate, lors de la montée entre le FL150 et le FL200, que les deux valves de transfert carburant (XFR valves) des réservoirs externes vers les réservoirs internes sont ouvertes. Selon lui, la quantité de carburant indiquée dans chaque aile était alors d'environ 1 600 kg.

⁽⁶⁾Ecram Warning Display (Écran de paramètres moteur et d'alarmes).

Quinze minutes après le décollage, toujours en montée, le message ECAM « FUEL L WING TK LO LVL » apparaît à l'EWD⁽⁶⁾, associé à l'allumage du voyant Master Caution, à l'alerte sonore de type « Single Chime » et à l'ouverture automatique de la page FUEL sur le SD. L'équipage annonce « ECAM action » et explique que lors de l'annonce de l'item de la procédure associée « IF NO FUEL LEAK AND FUEL IMBALANCE » le voyant Master Caution et l'alerte sonore s'arrêtent, le message ECAM et la page FUEL sur le SD disparaissent. Il affiche alors de nouveau la page FUEL et constate que les indications de quantité de carburant fluctuent puis semblent redevenir cohérentes.

L'équipage en déduit qu'il s'agit d'une alarme intempestive. Il décide néanmoins de vérifier régulièrement les indications de carburant. La page FUEL du SD est ainsi affichée par l'équipage toutes les cinq à dix minutes pendant la suite du vol afin de vérifier la cohérence entre le FOB, le carburant consommé et le carburant au départ.

À 13 h 35 min 54, en descente vers le FL80, la baisse de pression des deux pompes carburant du moteur gauche déclenche l'alerte « *Fuel Left Tank Pump 1+2 Low Pressure* ». L'équipage effectue les actions de la procédure associée.

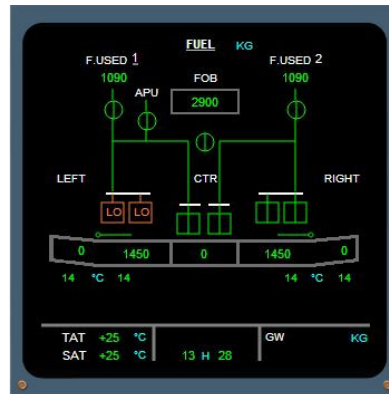


Figure 2 : reconstitution de la page FUEL après l'alarme « FUEL L TK PUMP 2 LO PR »

À 13 h 42 min 22, en fin de vent arrière, l'alarme « *ENG 1 FAIL* » se déclenche et le moteur s'arrête. L'équipage effectue la procédure associée et démarre l'APU⁽⁷⁾ qui s'arrête quelques minutes plus tard. L'équipage se déclare en urgence et atterrit avec un seul moteur en fonctionnement.

⁽⁷⁾Auxiliary Power Unit (Groupe auxiliaire de puissance).

2 - RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

2.1 Généralités sur le système carburant

2.1.1 Description

Le carburant de l'Airbus A319 est contenu dans un réservoir central (Center tank) de 8 250 l (6 476 kg) et dans quatre réservoirs d'aile. Dans chaque aile, un réservoir extérieur (Outer tank) de 880 l (691 kg) communique avec un réservoir intérieur (Inner Tank) de 6925 l (5 436 kg) par deux vannes de transfert (XFR valves).

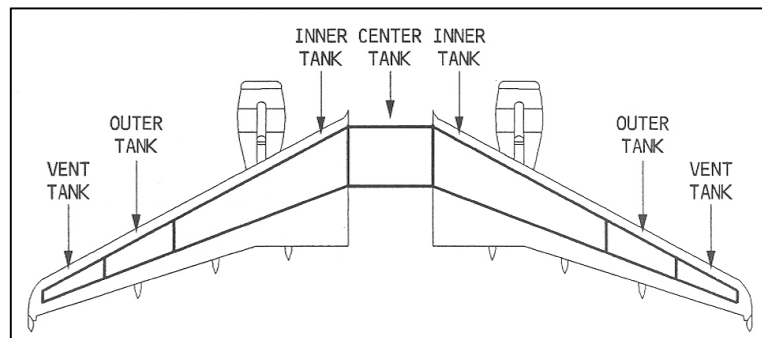


Figure 3 : répartition des réservoirs

Les deux réservoirs intérieurs d'aile et le réservoir central possèdent chacun deux pompes principales. En utilisation normale chaque réacteur est alimenté par les deux pompes situées de son côté et par une pompe du réservoir central. Les circuits gauche et droit sont reliés par une vanne d'intercommunication (X FEED valve). Ce robinet est fermé en fonctionnement normal, chaque moteur étant alimenté exclusivement par la partie de circuit située du même côté. L'ouverture du robinet d'intercommunication permet l'alimentation des deux moteurs à partir d'un seul réservoir de voilure.

⁽⁸⁾Fuel Quantity Indicating System.

⁽⁹⁾La précision du FQIS est d'environ 1 % de la capacité totale des réservoirs + 1 % de la quantité réelle contenue dans les réservoirs.

⁽¹⁰⁾Fuel Level Sensing Control Unit.

⁽¹¹⁾Flight Crew Operating Manual (Manuel d'exploitation des équipages).

2.1.2 Système d'indication de quantité carburant (FQIS⁽⁸⁾)

Le FQIS mesure la quantité de carburant⁽⁹⁾ dans chaque réservoir en utilisant :

- un jeu de sondes capacitatives dont certaines sont équipées d'un capteur de température ;
- un densimètre installé dans la partie la plus basse des réservoirs intérieurs et du réservoir central ;
- un calculateur de gestion et d'indication de carburant, le FQIC.

Le FQIC affiche le FOB sur l'écran EWD. Les quantités de carburant dans chaque réservoir sont affichées sur la page FUEL du SD.

Des jauges magnétiques manuelles localisées sur l'intrados de l'aile permettent également de vérifier la quantité de carburant. La précision de ces jauges manuelles est d'environ 5 %.

2.1.3 Système d'indication de bas niveau (FLSCU⁽¹⁰⁾)

Le FLSCU utilise des capteurs de niveau carburant différents de ceux utilisés par le FQIC.

Lorsque la masse de carburant dans un réservoir intérieur est d'approximativement 750 kg, les capteurs de bas niveau ne sont plus immergés et envoient un signal au FLSCU, qui commande l'ouverture des vannes XFR entre les réservoirs intérieur et extérieur. L'équipage est informé de l'ouverture de ces vannes de transfert par l'apparition d'un mémo « OUTER TK FUEL XFRD » sur l'écran EWD et par l'information sur la page du SD.

Les systèmes FQS et FLSCU étaient documentés dans la partie description des systèmes du FCOM⁽¹¹⁾ en vigueur au moment de l'incident. Cette description se composait de deux sections dédiées qui énuméraient distinctement les fonctions de chaque système.

Il était notamment précisé que lorsque le bas niveau de carburant est atteint, un message ECAM « FUEL L(R) TK LO LVL » apparaît sur l'EWD. Ce message est associé à l'activation du voyant lumineux « Master Caution », une alerte sonore de type « single chime » et l'ouverture automatique de la page FUEL sur le SD.

2.1.4 Consommation carburant lors du vol de l'incident et quantité restante au sol après l'incident

Les mesures effectuées par les équipes de maintenance au sol après l'incident indiquent que le réservoir gauche est vide et qu'il reste 1 100 kg dans le réservoir droit (soit la réserve finale +150 kg).

Le calcul des consommations de carburant des moteurs gauche et droit lors du vol de l'incident depuis la mise en route sont respectivement de 1 272 kg et de 1 525 kg. À la mise en route des moteurs, le FOB était donc de 3 800 kg au lieu des 5 080 kg affichés par le FQIC en début d'étape. Cette surestimation de la masse de carburant de 1 270 kg par le FQIC est cohérente avec les masses de carburant indiquées sur la page FUEL du SD à l'arrivée, à savoir 2 370 kg (1 360 kg à gauche et 1 010 kg à droite).

2.2 Procédures

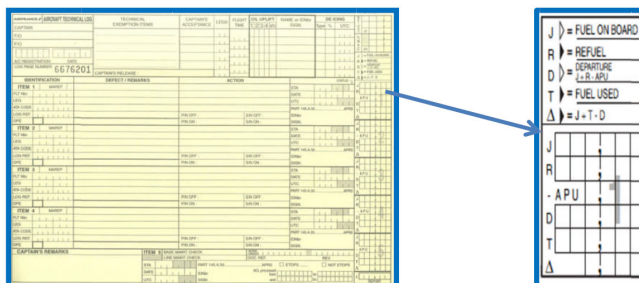
2.2.1 Suivi carburant et remplissage de l'ATL (en vigueur au moment de l'incident)

L'exploitant reprend dans son manuel d'exploitation la procédure du constructeur à suivre pour la gestion du carburant. Le cartouche de suivi carburant de l'ATL comporte cinq pavés de manière à couvrir une rotation avec plusieurs étapes effectuées par le même équipage de conduite. La procédure de suivi carburant qui suit doit être effectuée à chaque étape et les informations doivent être reportées sur le cartouche carburant de l'ATL. Les quantités de carburant sont exprimées en kg.

Au départ d'une étape :

"FOB.....CHECK
 - Check that ECAM fuel on board corresponds to the F-PLN.
 - Check that fuel imbalance is within limits.
 - Crosscheck that the sum of the Fuel On Board (FOB) recorded at the end of the last flight and the fuel uplift (if any) is consistent with the current FOB. If an abnormal discrepancy is found, a maintenance action is due."

- La quantité de carburant théorique (notée **D**) doit être comparée à l'indication des jaugeurs. **D** correspond à la somme du FOB de l'étape précédente (notée **J**, somme des jaugeurs en lecture sur la page SD FUEL) et de celle rajoutée lors de l'avitaillement (notée **R**), moins la quantité de carburant consommée par l'APU.
- D = J + R – consommation APU.**
- Le cartouche de suivi carburant de l'ATL est complété pour calculer le carburant théorique au départ.



En fin d'étape, après l'arrêt des moteurs :

"FUEL QUANTY.....CHECK
 Check that the sum of the fuel on board and the fuel used is consistent with the fuel on board at departure. If an unusual discrepancy is found, maintenance action is due."

- La somme des totalisateurs à l'arrivée (carburant utilisé pendant l'étape, Fuel Used, lecture sur la page SD FUEL) est reportée dans la case **T** de l'ATL et la somme des jaugeurs dans la case **J**. Le résultat de la somme **T + J** doit être comparée à la quantité de carburant théorique au départ **D**. Cette différence est notée **Δ** dans l'ATL, inscrite par le PF et vérifiée par le PM.
- Δ = T + J - D.**

La valeur maximale acceptable de Δ n'est pas définie ce qui laisse à l'équipage la décision d'estimer si la valeur est normale ou pas.

D'autre part, la façon de renseigner le cartouche carburant de l'ATL n'est pas abordée dans la documentation opérationnelle à disposition des pilotes. La formation des pilotes ne comporte qu'un module de 17 min sur l'utilisation de l'ATL.

L'étude des documents liés aux avitaillements et les ATL des vols du F-GRHT depuis février a mis en évidence des erreurs de calculs (atteignant parfois une tonne) et des remplissages de l'ATL qui ne correspondent pas aux consignes prévues décrites précédemment. Des équipages ont indiqué des quantités de carburant calculées et non celles lues sur les indicateurs. Ces erreurs de calcul laissent supposer que la vérification du calcul par le copilote n'est pas systématiquement effectuée. Elles peuvent aussi expliquer pourquoi le problème de panne intermittente du FQIC n'a pas été identifié et résolu malgré la survenue de cas précédents.

2.2.2 Procédure associée au déclenchement de l'alerte de bas niveau carburant « FUEL L WING TK LO LVL », en vigueur au moment de l'incident

FUEL L (R) WING TK LO LVL	
Applicable to: ALL	
Ident: PRO-ABN-28-E-00011180.0004001 / 10 JAN 11	
● If center tank not empty:	
FUEL MODE SEL.....	MAN
● IF NO FUEL LEAK AND FUEL IMBALANCE:	
FUEL X FEED.....	ON
TK PUMP 1 (ON SIDE WITH LO LVL).....	OFF
TK PUMP 2 (ON SIDE WITH LO LVL).....	OFF
Note: TK PUMP 1+2 (on side with LO LVL) LO PR warning will be triggered.	

Figure 4 : SOP⁽¹²⁾ « FUEL L(R) WING TK LO LVL »

En cas de déclenchement de bas niveau carburant, l'équipage doit procéder à un transfert de carburant (ouverture de la vanne d'intercommunication X-FEED valve) s'il détecte un déséquilibre de quantité de carburant et l'absence de fuite au niveau des réservoirs. Pour cela, l'équipage dispose des informations de quantités carburant fournies par le FQIC.

Lors du vol de l'incident, les calculs de quantités carburant montrent qu'au moment du déclenchement de l'alarme de bas niveau, les informations fournies par le FQIC ne laissent supposer à l'équipage aucune fuite ou déséquilibre qui aurait nécessité l'ouverture du robinet d'intercommunication selon la procédure. Ainsi, en cas de dysfonctionnement du FQIC, la procédure associée au déclenchement de l'alerte de bas niveau carburant ne permet pas de prévenir l'arrêt du moteur par défaut d'alimentation en carburant.

2.2.3 Procédures de maintenance associée aux défaillances des indications de quantité carburant

Au moment de l'incident, les procédures de maintenance associées aux défaillances du FQIC ne traitaient que de cas spécifiques. Aucune procédure du manuel de recherche de panne (TSM⁽¹³⁾) ne traitait d'une défaillance/fluctuation de l'indicateur de quantité carburant dans une situation générique telle que celle de l'incident avec des indications erronées par intermittence.

⁽¹²⁾Standard Operating Procedures (Procédures d'exploitation normalisées).

⁽¹³⁾Trouble shooting manual.

Dans le cas d'une situation non adressée par une tâche précise, Airbus demande à être informé par les exploitants pour considérer les actions à entreprendre.

2.3 Témoignage de l'équipage

L'équipage explique que lors de la préparation du vol, il a décidé d'un emport carburant de 5 000 kg (le logiciel utilisé pour la préparation des vols avait calculé un emport minimum de 4 710 kg). À la prise en compte de l'avion, il a constaté :

- ❑ une plainte ATL déposée à Nantes par l'équipage précédent, relative à des fluctuations de quantité carburant ; plainte soldée par la maintenance, avec mention d'un travail programmé sur une sonde carburant vue en défaut ;
- ❑ un FOB reporté dans la case **J** de l'ATL de 3 780 kg, identique à celui affiché par les jaugeurs ;
- ❑ un carton laissé par le commandant de bord de la rotation précédente, avec les relevés des variations d'indications de quantité carburant en fonction des différentes phases de vol lors de la dernière étape Nantes-Marseille (écart maximum de 300 kg).

Le commandant de bord indique qu'il n'a pas fait part au copilote de l'ouverture des deux valves de transfert de carburant car cette indication ne suscitait pas pour lui d'interrogation particulière. Le copilote ne se souvient pas avoir remarqué cette indication en montée. Le commandant de bord précise que ce transfert de carburant se produit généralement en fin de vol et qu'il a déjà observé sur d'autres avions le déclenchement de ce transfert de carburant alors que les quantités carburant dans les réservoirs internes étaient supérieures à la valeur théorique de déclenchement d'environ 750 kg⁽¹⁴⁾.

Après la disparition du message ECAM « *FUEL L WING TK LO LVL* », l'équipage précise qu'il a ensuite affiché manuellement de nouveau la page FUEL afin de confirmer l'état du système. Il a constaté que les indications de quantité carburant fluctuaient et semblaient redevenir cohérentes. L'équipage ajoute qu'il a alors identifié ce phénomène comme un problème associé à la défaillance déjà constatée des jaugeurs (FQIC). Il s'est ensuite interrogé sur la nécessité de noter à nouveau une plainte dans l'ATL puisqu'une action de maintenance relative à ce problème était déjà programmée.

En raison des indications cohérentes de la page FUEL, l'équipage indique qu'il n'a pas jugé nécessaire d'effectuer un FORDEC⁽¹⁵⁾ mais a décidé de vérifier régulièrement les indications de carburant et noter toutes les valeurs lues sur la page FUEL du SD à intervalles réguliers d'environ dix minutes⁽¹⁶⁾. L'équipage indique qu'il a constaté une augmentation de la somme des quantités de carburant affichées par les totalisateurs et les jaugeurs (**J + T**) au cours de la croisière, de 4 900 kg au TOC⁽¹⁷⁾ jusqu'à environ 5 500 kg.

⁽¹⁴⁾Cette information a été ultérieurement confirmée par la réception de plusieurs ASR signalant ce phénomène.

⁽¹⁵⁾FORDEC est l'acronyme de Faits-Options-Risques-Décision-Exécution-Contrôle. C'est une méthode qui aide les équipages à évaluer la situation, prendre des décisions et les contrôler.

⁽¹⁶⁾Le jour de l'événement, le dossier de vol n'a pas été conservé. Le BEA n'a donc pas eu accès aux relevés des indications de carburant des vols Nantes-Marseille et du vol de l'événement.

⁽¹⁷⁾Top Of Climb (Fin de la montée).

En approchant le FL110, le commandant de bord indique qu'il a constaté que les deux pompes carburant côté gauche étaient affichées en ambre sur le SD. L'alarme « *ECAM FUEL L TK PUMP 1+2 LO PR* » s'est ensuite déclenchée. Le copilote précise que la quantité de carburant affichée par le FQIC dans l'aile gauche était d'environ 1 400 kg. L'équipage explique qu'il a effectué le traitement de cette alarme en appliquant la procédure associée qui demande de couper les pompes mais ne demande pas d'ouvrir la vanne de transfert (FUEL CROSSFEED) en dessous du FL110. Le PF ajoute que l'équipage a ensuite effectué un FORDEC et a décidé de continuer en « *GRAVITY FEEDING* » vers sa destination. L'équipage a alors discuté ensuite de la possibilité de repartir pour l'étape suivante si deux pompes étaient hors service et a évoqué la MEL associée aux pompes.

Lorsque l'alarme « *ENG 1 FAIL* » s'est déclenchée quelques minutes après l'alarme ECAM « *FUEL L TK PUMP 1+2 LO PR* », l'équipage a pensé que les pompes étaient défectueuses. Le commandant de bord s'est déclaré en urgence et a demandé une trajectoire raccourcie. L'équipage explique avoir appliqué la procédure associée et qu'en raison du doute sur l'état du moteur et la cause de son extinction, il a percuté les extincteurs de ce moteur. Il a démarré l'APU mais ce dernier s'est éteint environ deux minutes après. L'équipage a tenté en vain un second démarrage⁽¹⁸⁾.

⁽¹⁸⁾L'APU est alimenté par le carburant situé dans le réservoir gauche qui était vide.

2.4 Défaillance du système d'indication de quantité carburant

Lors des essais du FQIC en configuration avion avec une quantité de carburant fixée à 5 000 kg et une diminution progressive de la quantité (simulation de la consommation des moteurs), une défaillance similaire à celle de l'incident est apparue. Cette défaillance, liée à un défaut de brasure, était intermittente et avait pour origine des variations de tension d'un oscillateur du FQIC.

2.5 Disparition de l'alerte bas niveau telle que rapportée par l'équipage

Les procédures du constructeur (FCOM et FCTM) sur le traitement d'un message ECAM demandent à l'équipage de terminer une procédure ECAM en pressant le bouton CLR de l'ECP⁽¹⁹⁾. Si l'alerte est considérée comme fausse, il est demandé à l'équipage d'appuyer sur le bouton EMER CANCEL. Un appui long (plus de trois secondes) sur le bouton RCL permet ensuite de lister les alertes inhibées par appui sur l'EMER CANCEL.

L'appui sur le bouton RCL n'a pas été réalisé au sol à la suite de l'événement et les actions de maintenance ultérieures n'ont pas permis de conserver les informations affichées par la page « *STATUS* ». Il n'a donc pas été possible de déterminer si la procédure affichée à l'ECAM avait pu disparaître en raison d'un appui sur le bouton EMER CANCEL de la part de l'équipage.

Les examens du FLSCU et des autres composants du FQIS n'ont pas révélé de défaillance susceptible d'expliquer cette disparition. Après l'atterrissage de l'avion, lors de sa remise en tension par les équipes de maintenance, cette alarme s'est de nouveau déclenchée.

⁽¹⁹⁾ECAM Control Panel.

2.6 Historique des actions de maintenance réalisées sur le système carburant du F-GRHT

Entre le 15 février et le 2 mars 2014, quatre plaintes relatives à un arrêt du remplissage de carburant avant la quantité présélectionnée sont inscrites dans l'ATL. Le FQIC est remplacé le 3 mars 2014, soit neuf jours avant l'incident.

Le 6 mars 2014, les deux derniers chiffres affichés par le FQIC et indiquant le FOB de l'aile gauche sont « *inop* ». Une réinitialisation est effectuée par l'équipage mais sans succès. L'affichage redevient normal après le démarrage des moteurs. L'équipage le mentionne dans l'ATL. À l'issue des vols, le personnel de maintenance constate que l'indicateur de quantité de carburant fonctionne correctement et l'avion est remis en service.

3 - ENSEIGNEMENTS ET CONCLUSIONS

Scénario

À l'arrivée de l'étape qui a précédé l'incident, en l'absence de vérification par le copilote, l'erreur du commandant de bord lors du calcul de suivi carburant n'a pas été corrigée/identifiée. Il est probable qu'un résultat donnant un écart proche de 900 kg aurait alerté cet équipage et le suivant sur une défaillance du calculateur de gestion et d'indication de carburant (FQIC).

L'équipage du vol de l'incident, en se fiant aux informations qu'il avait à sa disposition (l'ATL et les indications du FQIC) avait au départ du vol une conscience erronée de la quantité de carburant réellement présente à bord.

Pendant le vol, l'équipage a associé le déclenchement de l'alarme de bas niveau carburant à une alarme intempestive liée au dysfonctionnement du FQIC mentionné par l'équipage précédent dans l'ATL.

Peu après, lorsque les pompes de carburant se sont désamorçées par défaut d'alimentation, puis lorsque le moteur gauche s'est arrêté après que les réservoirs gauches se sont vidés, l'équipage n'a pas été en mesure d'en identifier l'origine et a pensé à une défaillance simultanée de ces deux pompes. Tout au long du vol, l'équipage est ainsi resté sur l'idée que la quantité carburant indiquée à l'ATL était correcte et que les sondes du FQIC pouvaient dysfonctionner. L'équipage n'a à aucun moment eu de doute sur la présence de carburant dans le réservoir gauche et ce jusqu'à l'arrivée au parking.

Les examens techniques ont permis d'identifier une défaillance du système d'indication de quantité de carburant qui a fourni une information erronée sur la quantité de carburant présente dans les réservoirs avant le départ du vol et pendant le vol.

Facteurs contributifs

Ont pu contribuer à l'arrêt du moteur gauche en descente :

- ❑ Les nombreuses différences et incohérences dans le suivi du carburant complété au sol par les équipages dans l'ATL, probablement en raison de l'absence d'information dans le manuel d'exploitation, d'une formation insuffisante et dans certains cas d'une absence de vérification par le copilote des calculs du commandant de bord.
- ❑ La difficulté pour un équipage de remettre en question des informations considérées comme avérées avant le départ d'un vol (biais de confirmation).
- ❑ Une procédure ECAM de bas niveau carburant qui requiert des actions de l'équipage basées sur des informations erronées de quantité de carburant fournies par le FQIC et sur l'absence de connaissance de l'indépendance entre les système d'indication de bas niveau (FLSCU) et de gestion et d'indication de carburant (FQIS).

4 - ACTIONS DE SÉCURITÉ PRISES À LA SUITE DE L'INCIDENT

4.1 Actions entreprises par Air France

Après l'incident, Air France a réalisé les actions suivantes :

- ❑ Une campagne de jaugeage manuel réalisée sur toute la flotte moyen-courrier. Cette campagne n'a révélé aucun défaut de FQIC.
- ❑ Une communication à l'attention des équipages sous forme d'une note dont l'objectif est de détailler la rédaction du cartouche carburant de l'ATL et de rappeler les points de vérification des procédures (SOP).

Par la suite, les procédures du manuel d'exploitation ont été amendées pour intégrer une procédure détaillée de remplissage du cartouche carburant de l'ATL. L'application de ces procédures fait l'objet d'une formation et de contrôles en ligne.

L'appréciation de la criticité opérationnelle de certaines pannes, et en particulier des pannes intermittentes et récurrentes, a aussi fait l'objet de mesures organisationnelles pour améliorer le partage d'information entre les services de maintenance et les équipages.

Le terme d'« avion récurrent » a été introduit pour désigner un aéronef présentant une combinaison significative entre la fréquence et la gravité des pannes (ou de retours d'équipages via l'ATL ou des comptes rendus). L'objectif de cette classification est de permettre à l'exploitant de mettre en place un suivi particulier en coordination avec le constructeur afin d'identifier et traiter au plus tôt une panne intermittente telle que celle qui a touché le F-GRHT.

4.2 Actions de sécurité prises par Airbus

4.2.1 Maintenance et procédures normales de préparation avant le vol

Une nouvelle tâche de maintenance du TSM a été créée en mai 2016 pour traiter des cas plus généraux liés aux fluctuations des indications de quantité de carburant.

La procédure normale (SOPs FCOM) de gestion du carburant avant le vol « *Before start clearance* » a été mise à jour en juin 2015 pour préciser les termes « *unusual* » et « *abnormal* » cités dans la version du FCOM précédente.

FOB..... CHECK	
<ul style="list-style-type: none"> - Check that ECAM fuel on board corresponds to the F-PLN. - Check that fuel imbalance is within limits. - Crosscheck that the sum of the Fuel On Board (FOB) recorded at the end of the last flight and the fuel uplift (if any) is consistent with the current FOB. If an abnormal discrepancy is found, a maintenance action is due. 	
FOB after refuelling:	Abnormal discrepancy above:
Up to 6 tons (13200 lb)	400 kg (900 lb)
Between 6 tons (13200 lb) and 12 tons (26500 lb)	500 kg (1100 lb)
More than 12 tons (26500 lb)	600 kg (1300 lb)

Figure 5 : extrait du FCOM Normal procedures SOP « Before start clearance »

4.2.2 Opérations aériennes

Le FCOM (partie « *Aircraft Systems Fuel – Description, - Fuel quantity Indication and level sensing* ») a été amendé en mars 2015 afin de rappeler aux équipages l'indépendance de la mesure de quantité et de l'alerte de bas niveau. Il a ainsi été ajouté une phrase (en gras ci-après) : « *When fuel quantity in one wing tank goes below 750 kg (1 650 lb), the low-level sensor triggers the LO LVL warning on ECAM. **The LO LVL warning is totally independent from the displayed fuel quantity indication of the tank*** ».

Airbus a amendé la procédure de surveillance du carburant en croisière en décembre 2015.

<ul style="list-style-type: none"> When overflying the waypoint, or at least every 30 min: - Check FUEL : Check FOB (ECAM), and fuel prediction (FMGC), and compare with the computer flight plan or the in-cruise quick-check table (Refer to QRH/PER-G In Cruise Quick Check at a Given Mach Number). Check that the sum of the fuel on board and the fuel used is consistent with the fuel on board at departure. If the sum is unusually greater than the fuel on board at departure, suspect a fuel quantity over read. If the sum is unusually smaller than the fuel on board at departure, or if it decreases, suspect a fuel leak.

Figure 6 : extrait du FCOM Normal procedures SOP « Before start clearance »

⁽²⁰⁾https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/safety-first/Airbus_Safety_first_magazine_20.pdf

Airbus a également publié un article dans son document Safety First⁽²⁰⁾ (n° 20 juillet 2015 « *Fuel monitoring on A320 Family aircraft* »).

Enfin, une étude de sécurité menée par Airbus a conduit fin 2018 à la mise à jour de la procédure « *FUEL L(R) WING TK LO LVL* », qui consiste en la suppression de la condition de déséquilibre. La nouvelle procédure demande aux équipage d'ouvrir le robinet d'intercommunication dès lors qu'il n'y a pas de fuite.

Lors de l'enquête, la coordination et les échanges entre Airbus, Air France et le BEA ont permis de mettre en place les mesures de sécurité adéquates permettant de prévenir les défaillances identifiées.