



BEA

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

Examen des moteurs

www.bea.aero



Emmanuel DELBARRE
Enquêteur BEA

Les moteurs

Plusieurs types de moteurs

Il faut distinguer les avions équipés de **turbopropulseurs**, parfois appelés avions à **hélices**, ATR, Saab2000, Embraer 120), des aéronefs munis de **turbomoteurs** (hélicoptères) **turboréacteurs** (jets tels qu'Airbus, Boeing, Canadair RJ, Embraer 145, ...). Ces derniers sont équipés de deux, trois ou quatre réacteurs.

Fiabilité des turboréacteurs et des turbopropulseurs

Les **réacteurs** peuvent dorénavant accumuler **plusieurs dizaines de milliers d'heures** de vol sous l'aile de l'avion **avant d'être déposés pour une révision**.

Les **turbopropulseurs**, peuvent accumuler actuellement un peu plus de 10 000 heures de vol avant de devoir être déposés pour révision.

Les moteurs

Causes de panne des turbopropulseurs et turboréacteurs

On distingue différents types de panne moteur/

1. La panne qui nécessite un arrêt de précaution du moteur en vol afin de ne pas l'endommager.

Celle-ci est **la plus courante** et n'est pas forcément perçue par les passagers. A chacune de ces pannes correspond une **procédure que les pilotes connaissent** et pour laquelle ils sont entraînés.

Ces procédures sont décrites dans la **documentation à bord des avions** et font l'objet d'une liste de vérification (check-list) particulière.

- **Le pompage moteur** : c'est l'événement le plus spectaculaire. Il s'accompagne souvent d'un bruit sourd et parfois de flammes à la sortie du moteur. Ce phénomène est momentané et n'a pas de répercussions sur la sécurité.
- **Le problème de régulation carburant** : cela entraîne des fluctuations des paramètres du moteur qui ne sont visibles que par l'équipage au niveau des indicateurs.
- **La chute de pression d'huile pouvant entraîner une surchauffe** : elle provient en général d'une fuite dans le circuit ou de la rupture d'un élément.
- **Les vibrations importantes du moteur** : une usure ou une légère détérioration interne peut induire un phénomène vibratoire. Des indicateurs en poste de pilotage permettent de surveiller le niveau de ces vibrations.
- **L'ingestion d'oiseau (risque aviaire) ou de corps étrangers (souvent de petits objets tombés sur la piste)** : les moteurs sont certifiés pour résister à la grande majorité de ces ingestions

Dans la majorité de ces cas, le BEA ne conduira pas d'enquête. Il s'agit de pannes connues, normalement sans impact sur la sécurité et pour lesquelles il existe une procédure approuvée.

La panne provoquant soit un endommagement important du moteur, soit un incendie.

Ce **type de panne est beaucoup plus rare** et peut avoir des conséquences sur la sécurité. Dans le premier cas, des composantes du moteur sont éjectées avec une grande énergie à l'extérieur du capotage du moteur et peuvent provoquer **des dommages collatéraux**.

Dans le second cas, **une rupture interne peut provoquer un incendie**. Les **extincteurs** installés sur les moteurs et commandés du poste de pilotage **doivent normalement permettre de l'éteindre**.

Ces événements font appel à des **procédures d'urgence**, pour lesquelles les pilotes sont entraînés à **réagir immédiatement**, et qui peuvent conduire à un **atterrissage d'urgence**. A cause de la gravité des conséquences techniques et des risques potentiels qu'ils présentent pour la sécurité du vol, **ils doivent être notifiés au BEA qui conduit généralement alors une enquête**.

Les examens moteurs

Ces **examens** sont le plus souvent **effectués** en **collaboration** avec **le constructeur des moteurs** (SAE, SHE, PW...) après l'établissement d'un **protocole de travail** établi entre les deux parties.

Pour les « **petits** » **moteurs** (aviation légère) un enquêteur du BEA spécifiquement formé peut faire seul.

1- Examen visuel

Déceler les traces extérieures de feu, de fuite, de chocs, de ruptures.

2 – Endoscopie/boroscopie

Les capots et les revêtements externes du moteur sont ensuite retirés pour permettre l'insertion de l'endoscope dans le moteur. L'endoscopeur choisit l'étage à inspecter et insère l'endoscope pour le positionner de manière à visualiser les aubes du compresseur. Grâce à un petit moteur appelé « Turning Tool », on fait lentement tourner les aubes pour les inspecter les unes après les autres via l'endoscope et ainsi détecter toute anomalie (rupture d'aubes ou présence de volatiles par exemple). Les données recueillies lors du contrôle visuel (images, vidéos) sont ensuite analysées par l'équipe d'enquête. Les défauts ou les problèmes identifiés sont notés et classés en fonction de leur gravité et de leur impact potentiel sur les performances. Cette inspection peut ainsi être couplée ou complétée par une analyse plus poussée ; **le ressuage**.

3- Le contrôle ressuage

Le **contrôle ressuage** est une des méthodes de détection **des fissures et défauts de surface**. Effectuer un **contrôle ressuage par un endoscope** permet d'éviter une dépose moteur, soit un gain de temps et d'argent conséquent. Elle consiste à appliquer un liquide pénétrant qui révèle les discontinuités sous une lumière UV ou colorée.

La **technique** est également **intéressante** pour sa polyvalence: elle s'utilise sur **une variété de matériaux et notamment sur les différents alliages métalliques** utilisés dans la construction aéronautique (**aluminium, titane, acier inoxydable...**) ou sur les **composites** utilisés dans l'industrie aéronautique, elle peut être appliquée sur les soudures, les pièces moulées et les pièces usinées.

Le **contrôle ressuage** se fait généralement **chez le motoriste en présence du BEA**.

4- La dépose moteur chez le constructeur/motoriste (PW – SAE – SHE etc)

A mettre en œuvre lorsque les étapes précédentes ne suffisent pas.

Travaux souvent très longs

Protocole de travail à établir entre le motoriste et le bureau d'enquêtes.

Le bureau d'enquêtes est en général présent au début du lancement des travaux puis par intermittence puis à la fin.

Accident de l'avion AIRBUS A380-861

équipé de moteurs Engine Alliance GP7270

immatriculé F-HPJE

exploité par Air France

survenu le 30 septembre 2017

en croisière au-dessus du **Groenland (Danemark)**

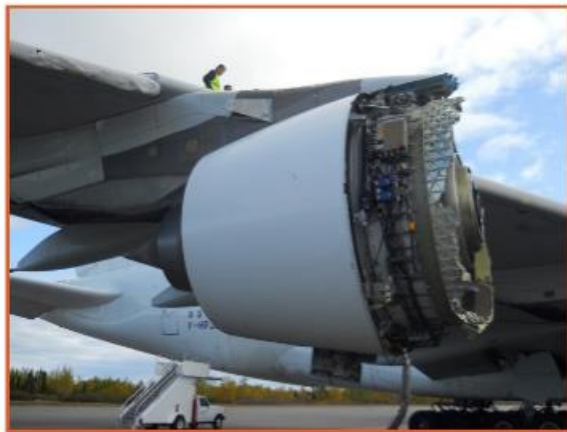




Figure 4 : Moteur N°4 endommagé du F-HPJE à Goose-Bay



Examen du débris de moyeu retrouvé

Le fragment de moyeu retrouvé au Groenland a été **envoyé chez P&W** en juillet 2019 afin de réaliser un **examen, supervisé par le BEA**. Le fragment retrouvé est présenté sur la figure ci-dessous. Des fragments d'aubes de soufflante étaient encore attachés au moyeu. Deux surfaces de ruptures sont visibles, dans les alvéoles n°10 et n°18.

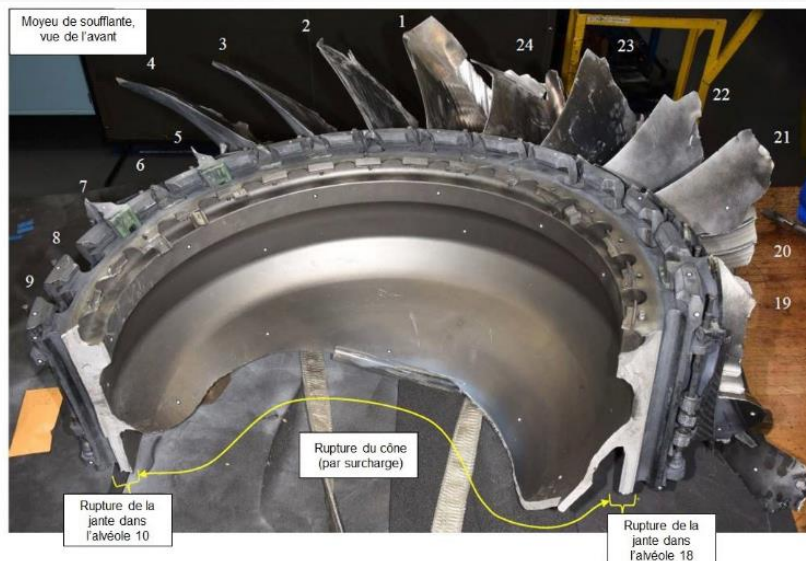


Figure 16 : Fragment du moyeu de soufflante retrouvé au Groenland lors de la phase III. Les numéros d'alvéole sont indiqués en blanc. La surface de rupture s'étend du fond d'alvéole n°10 au slot 18 en passant par la partie conique du moyeu (ligne jaune).

Examen du débris de moyeu retrouvé

L'examen a permis de déterminer que la rupture du moyeu s'est produite selon un processus de fissuration en fatigue dont l'origine est sub-surfacique.



Figure 17 : Surface de rupture de l'alvéole n°10

Examen du débris de moyeu retrouvé

La macro-zone où la fissure s'est amorcée était beaucoup plus grande et **beaucoup plus intense que les macro-zones généralement observées par le constructeur**, à la fois dans d'autres zones du moyeu du moteur N°4.

Le phénomène de **fatigue-dwell mis en lumière par cet accident n'était pris en compte ni dans la certification, ni dans la conception des moteurs**. A l'époque de la certification du moyeu et du moteur, il était admis par la communauté scientifique, industrielle et par les autorités de certification que **le Ti-6-4 n'était pas sensible au phénomène de fatigue-dwell**.

Pour les passionnés

Rapport final d'enquête extrêmement complet

Accident de l'avion AIRBUS A380-861

équipé de moteurs Engine Alliance GP7270

immatriculé F-HPJE

exploité par Air France

survenu le 30 septembre 2017

en croisière au-dessus du **Groenland (Danemark)**

Procédure pour moteurs ayant séjourné dans l'eau

Principe

La **passivation** est un **procédé chimique** utilisé pour rendre les surfaces métalliques plus résistantes à la **corrosion**. Ce procédé forme une fine couche d'oxyde protectrice à la surface du métal, qui agit comme une barrière contre les facteurs environnementaux tels que l'**humidité** et l'air qui peuvent provoquer la **rouille** ou la détérioration.

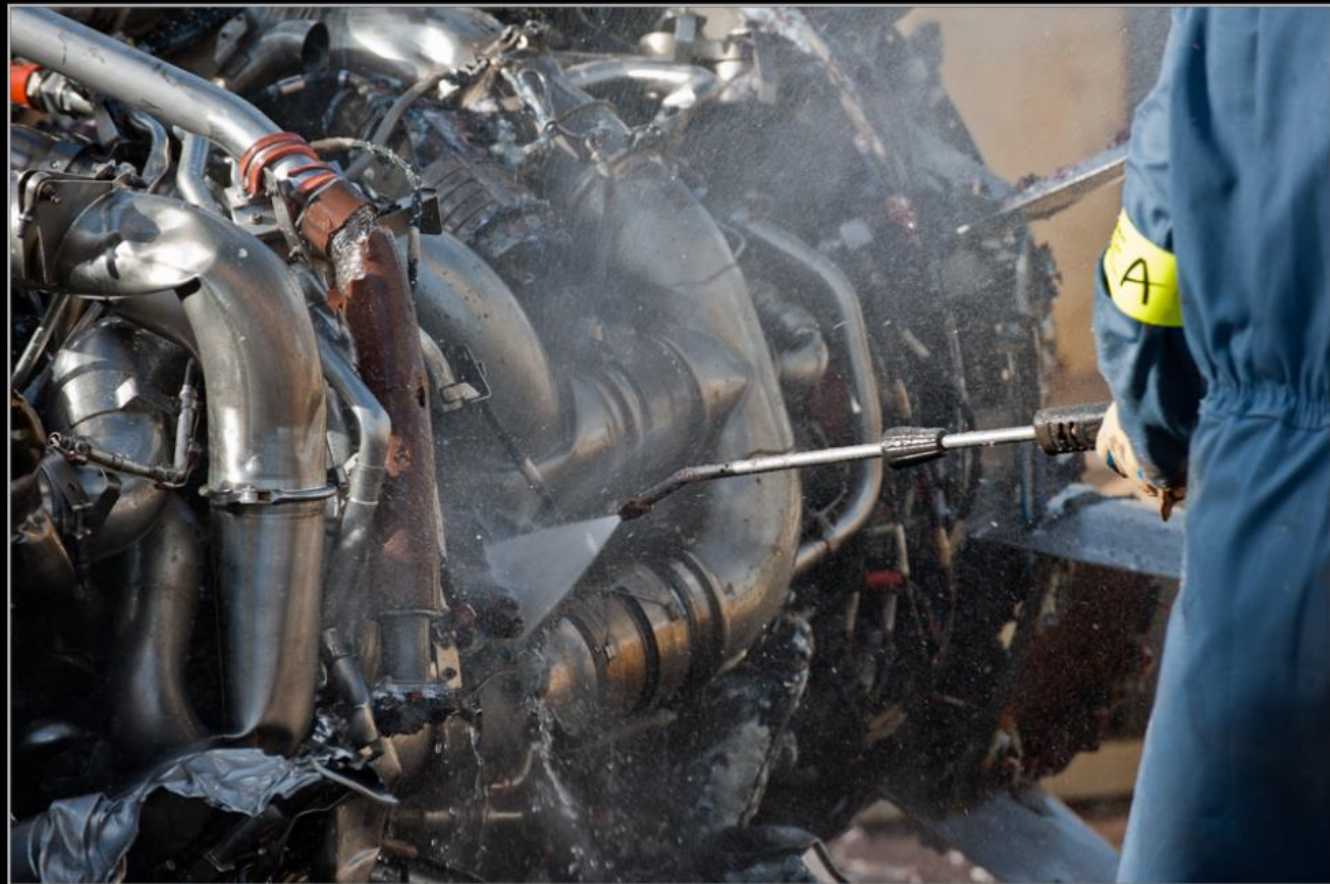
Produits

La passivation à l'**acide citrique** est une alternative plus sûre aux méthodes traditionnelles à l'**acide nitrique**.











BEA

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile



Merci pour votre attention

www.bea.aero

