

Les « boîtes noires »



Par Pierre GILLARD

BEA/ecpa d

Lors qu'il y a un incident ou un accident aérien, on entend systématiquement parler de la récupération et de l'analyse des « boîtes noires » de l'aéronef par les organismes en charge de l'enquête et l'analyse de l'événement, le Bureau de la sécurité des transports (BST) dans le cas du Canada, le Bureau d'Enquêtes et d'Analyses en France ou le *National Transport Safety Board* (NTSB) aux États-Unis. Ceux-ci sont indépendants des autorités nationales de l'aviation ainsi que de l'enquête judiciaire afin d'assurer une étude de cas exempte de toute influence. Par la suite, les enquêteurs remettront leur rapport qui énoncera essentiellement les maillons de la chaîne d'évé-

nements qui ont mené à l'incident ou l'accident et établiront une liste de recommandations à l'attention des autorités concernées afin de limiter le risque que celui-ci se reproduise. Au Canada, le BST jouit d'une excellente réputation en la matière au niveau mondial.

Les deux boîtes noires.

Dans un aéronef, les boîtes noires sont au nombre de deux. Il y a, tout d'abord, l'enregistreur de paramètres de vol, le FDR ou *Flight Data Recorder* qui, comme son nom l'indique, enregistre différents paramètres de l'aéronef en fonctionnement comme l'altitude, la vitesse air, la position des commandes de vol ou les

informations techniques en provenance des moteurs. Il y a, ensuite, l'enregistreur de conversations, le CVR ou *Cockpit Voice Recorder*, qui capte toutes les communications provenant des radios et de l'interphone, ainsi que le bruit ambiant dans le cockpit. Parfois, sur certains aéronefs plus petits, le CVR et le FDR sont montés dans le même boîtier qui porte alors la désignation de « CVFDR, *Cockpit Voice & Flight Data Recorder* ». Actuellement, on trouve également des CVFDR sur des avions de transport commercial; dans ce cas, ils seront au nombre de deux.

Les boîtes noires sont construites dans des boîtiers hermétiques résistants au feu

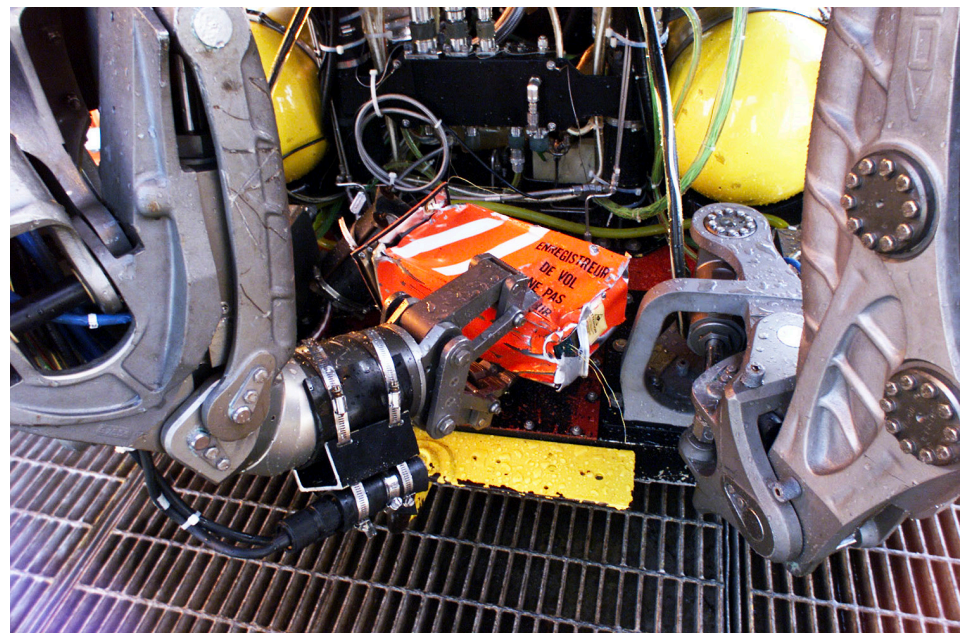


Enregistreur de vol (SSFDR) Fairchild FA2100 prévu pour être installé sur un châssis standard compatible avec les appareils plus anciens, d'où cette impression d'espace vide (L3-Fairchild).

et à l'eau. Mécaniquement, ces systèmes sont prévus pour résister à des impacts violents, ce qui faisait dire, à l'époque, à l'humoriste français Coluche que si on était capable de construire des boîtes noires qui survivaient à des crashes aériens, pourquoi ne construirait-on pas les avions comme les boîtes noires ?

Pour pouvoir identifier rapidement les boîtes noires dans les débris d'un aéronef accidenté, elles sont toujours revêtues d'une peinture orange vif. En effet, une fois les premières opérations de secours terminées, la récupération du CVR et du FDR devient une priorité pour les enquêteurs. En général, les deux boîtes noires sont installées dans un en-

droit plus résistant de l'avion afin d'améliorer les chances de les retrouver en relativement bon état. Il est parfois étonnant de voir l'état de



Le CVR du vol Alaska Airlines 261, retrouvé par le robot sous-marin télécommandé Scorpio, est remonté sur le pont du navire MV Kellie Chouest au large de la Californie le 2 février 2000 (Petty Officer 1st Class Spike Call, U.S. Department of Defense).

certaines boîtes noires après un accident, brûlées, tordues, et, malgré tout, il est possible de récupérer les informations contenues dans les enregistreurs.

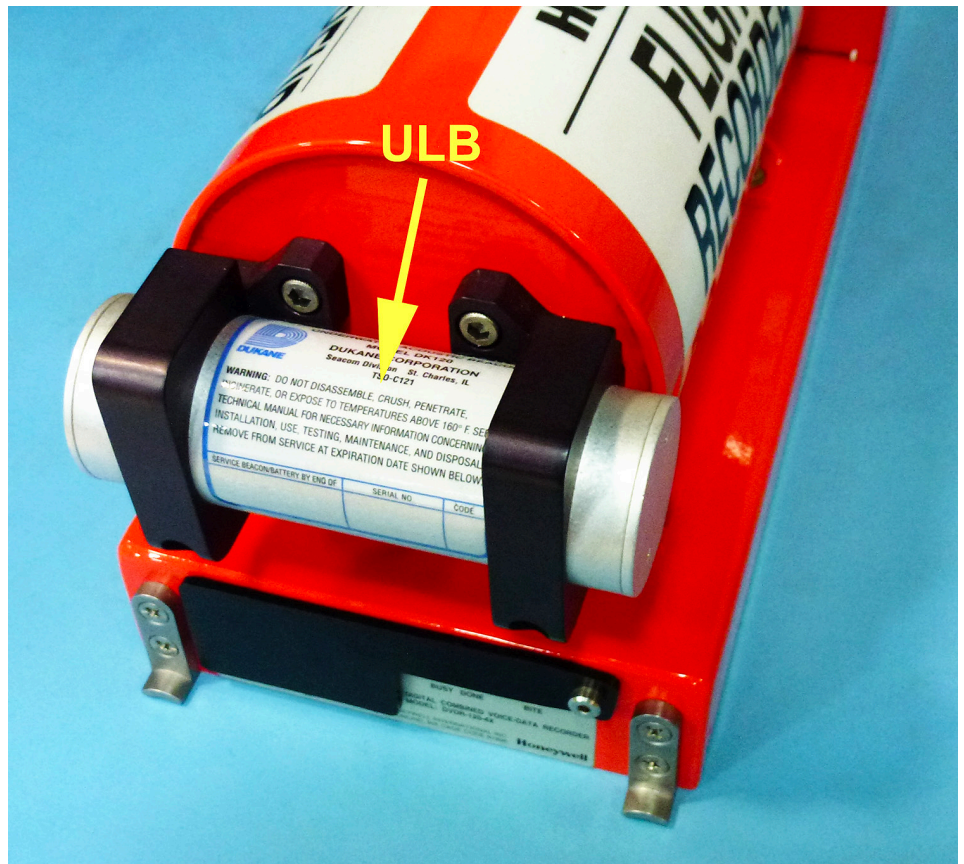
Détection sous-marine.

La surface de la Terre étant recouverte principalement d'eau, il y a beaucoup de chances pour qu'une épave d'avion termine au fond d'une mer ou d'un océan après un accident. À cet effet, les deux boîtes noires sont donc équipées d'un dispositif de localisation sous l'eau, ou ULD, *Underwater Locator Device*, parfois aussi connu sous l'acronyme ULB, *Underwater Locator Beacon*. Ce dispositif va permettre à des robots sous-marins de pouvoir les retrouver grâce à un signal acoustique généré sous forme d'impulsions à 37,5 kHz qui sont trans-

mises toutes les secondes. Le dispositif, qui est activé au contact de l'eau, doit pouvoir émettre au minimum durant 30 jours. Il est actuellement équipé d'une batterie au lithium générant une tension entre 2,97 et 3,5 volts qui doit être changée au plus tard tous les six ans.

Toutefois, en 2018, leur durée de fonctionnement passera obligatoirement à 90 jours. De toutes manières, une fois ce temps de vie écoulé, l'ULD cesse d'émettre, limitant ainsi les chances de récupérer la boîte noire. C'est pour cela qu'il est impératif de lancer l'opération de recherche sous-marine sans délai après un accident en mer.

En mode de fonctionnement acoustique, la portée typique d'un ULD standard est de l'ordre de deux à trois kilomètres, mais celle-ci peut être affectée si la balise est ensevelie sous des débris, du sable ou de la vase, par exemple. Par ailleurs, la facilité de la détection va dépendre de la sensibilité du sonar de détection ainsi que de la perturbation acoustique sous-marine provenant de l'état de la mer, des bateaux présents dans le voisinage, des animaux marins ou des pipelines de pétrole ou de gaz. Il faut encore tenir compte également de la profondeur séparant l'ULD du sonar ainsi que du gradient de température de l'eau.



Balise de localisation sous l'eau (ULD) permettant de retrouver une boîte noire immergée (ATSB).

Utilité des boîtes noires.

La sécurité est le maître mot en aviation. Ce sont les nombreuses mesures prises et les réglementations nationales basées, notamment, sur les recommandations de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) qui rendent ce mode transport réputé comme étant le plus sûr à l'heure actuelle. Souvent, ces mesures et les règlements en vigueur ont été définis suite à des recommandations émises après l'étude des facteurs tant techniques qu'humains ayant contribué à provoquer des accidents. Généralement, un accident d'avion n'est pas dû à un fait isolé, mais à une chaîne d'événements

qui, mis bout à bout, ont amené à la catastrophe. L'étude des différents maillons de cette chaîne provient essentiellement de l'analyse des deux boîtes noires. Elles sont, en quelque sorte, la mémoire du vol et permettent d'établir la chronologie de l'accident. Même s'il n'y a pas de survivants ni de témoins, elles peuvent fournir une foule d'informations utiles à l'enquête.

Historique.

Mais d'où vient ce nom de « boîte noire » alors qu'elles sont toujours orange et ne ressemblent pas souvent à une boîte ? Plusieurs théories existent à ce sujet des plus farfelues aux plus plau-



Parmi les premiers avions de transport commercial à être équipés de FDR à la fin des années 1950 et au début des années 1960, il y avait les jets comme le Boeing 707 (Ralph Clint), le Douglas DC-8 (Jacques Barbé) et le Sud-Aviation SE210 Caravelle (Pierre Gillard).

sibles. Cela va de l'histoire que ce serait un certain Monsieur Black qui aurait été à l'origine du concept à un journaliste qui aurait vu un de ces enregistreurs carbonisés après avoir subi un test de résistance au feu en passant par une similitude avec les boîtes hermétiques qui servait au transfert de dossiers secrets dans le passé.

Toujours est-il que c'est au cours des années 1940 que débute la première tentative de développer un enregistreur résistant aux accidents. Mais les concepteurs se heurtent très vite aux limites technologiques de l'époque qui ne permettent pas de construire un boîtier suffisamment robuste capable également de résister aux températures extrêmes résultant d'un accident d'avion.

Ce sont les Australiens qui semblent être réellement les précurseurs dans le développement des enregistreurs de vol. Dans les années 1950, ces derniers étaient, semblerait-il, recouverts d'une peinture servant de protection contre la corrosion abondamment utilisée dans l'industrie. Or, il se fait que cette peinture était de couleur noire, d'où le nom de « boîte noire ».

C'est seulement en 1958 qu'un premier modèle d'enregistreur aéronautique orienté à fin d'enquête d'accident voit le jour. À cette

époque, on est au début de l'ère du jet commercial avec les développements des Boeing 707, Douglas DC-8 et Sud-Aviation Caravelle pour ne citer que ces exemples.

Le 10 juin 1960, un Fokker F-27 Friendship s'écrase à l'atterrissage à Mackay dans le Queensland en Australie faisant 29 victimes. Suite à l'enquête, aucune cause bien précise ne peut être attribuée à l'accident. Ce tragique événement met en lumière l'utilité d'un enregistreur de vol qui aurait, peut-être, permis de découvrir les causes ayant mené au crash de l'appareil. Ce mystère non élucidé mène ainsi à la recommandation d'en installer à bord de tous les types d'avions de transport commerciaux.

Les exigences de l'époque ne concernent que cinq paramètres de vol : le cap, l'altitude, la vitesse par rapport à l'air, les accélérations verticales et le temps. Ces paramètres, convertis en signaux électriques analogiques, sont gravés par un enregistreur sur une feuille métallique (Incanol Steel) qui ne peut être utilisée qu'une seule fois. Mais même si cette feuille est réputée indestructible, tout comme le Titanic était théoriquement insubmersible, il arrive que, dans certaines circonstances, elle ne survive pas à la destruction de l'enregistreur dans un accident aérien.



Enregistrement de paramètres de vol sur une feuille métallique (BEA).

À partir de 1965, on commence à exiger que les nouveaux enregistreurs de paramètres de vol puissent résister à un impact de 1000 G, soit dix fois plus que la génération précédente. Par contre, ils n'enregistrent toujours que cinq paramètres ce qui devient vite insuffisant et seront définitivement bannis en 1987. Par ailleurs, le fait que les feuilles d'acier Incanol deviennent difficiles à trouver et qu'elles ne sont pas réutilisables renforcent l'obligation d'évoluer vers une nouvelle technologie d'enregistreurs.

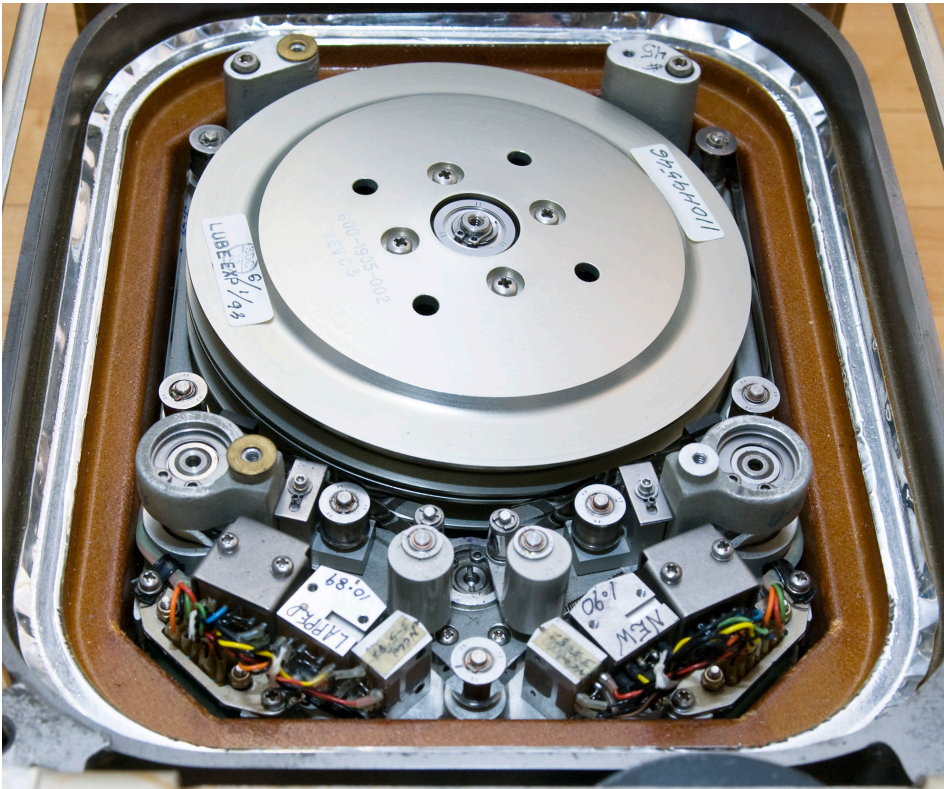
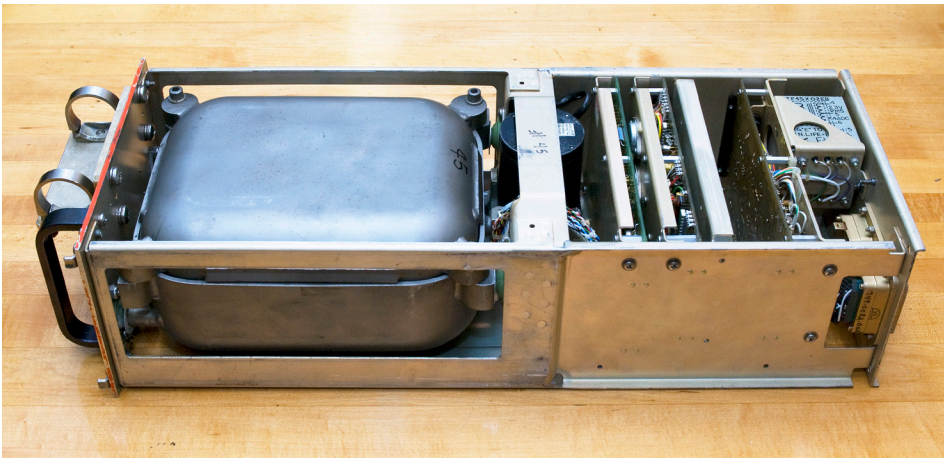
Toutefois, à la fin des années 1960, suite à une exigence de la CAA britannique, des FDR pouvant enregistrer également l'information de tangage, de roulis et des dispositifs hypersustentateurs sont développés. Afin de pouvoir enregistrer ces paramètres supplémentaires, la feuille d'acier Incanol est gravée sur les deux faces.

Mais, à l'usage, ces FDR se révèlent moins fiables et exigent plus de travail pour les ateliers de maintenance que leurs homologues à simple face. De plus, les nouvelles informations se lisent plus difficilement et ne sont pas évidentes à interpréter.

Les enregistreurs de seconde génération.

Avec le temps et l'expérience, il apparaît opportun de trouver un moyen de pouvoir enregistrer également l'ensemble des conversations de l'équipage ainsi que les communications radio, car ces informations vocales vont très certainement faciliter l'enquête permettant de déterminer les causes d'un accident aérien.

Le seul moyen d'enregistrer valablement un son à l'époque est la bande magnétique. C'est, d'ailleurs, cette technologie qui est lar-



En haut : un enregistreur de conversations (CVR); on peut distinguer, à gauche, le boîtier blindé contenant l'enregistreur à bande magnétique et, à droite, les cartes électroniques servant à assurer le fonctionnement de l'appareil. Ci-dessous : vue de l'intérieur du boîtier blindé; on aperçoit le contenant protégeant la bande magnétique sans fin ainsi que le mécanisme de transport de la bande et les têtes magnétiques (Pierre Gillard).

gement employée à ce moment-là dans les studios de radio ou de production.

À partir de 1965, on commence donc à installer des enregistreurs de conversations (CVR) à bord des avions commerciaux. L'enregistreur, contenu dans un

boîtier étanche, utilise une bande magnétique sans fin qui permet d'enregistrer 30 minutes de conversations avant d'être effacée et ré-enregistrée. Le mécanisme d'entraînement de la bande est complexe, mais est, malgré tout fiable et résistant.

La fin des années 1960 et le début des années 1970 voient arriver des nouveaux avions commerciaux *wide bodies* comme l'Airbus A300, le Boeing 747, le Lockheed L.1011 TriStar ou le McDonnell Douglas DC-10. Les FDR évoluent donc afin de pouvoir enregistrer plus de paramètres, notamment ceux liés au fonctionnement des moteurs, aux positions des commandes de vol et des dispositifs hypersustentateurs, etc.

Simultanément, les enregistreurs des FDR évoluent et utilisent également le principe de la bande magnétique de manière tout à fait semblable à celui des CVR. Ces nouveaux systèmes enregistrent maintenant les données de vol sous une forme numérique à raison de 64 mots de 12 bits par seconde pour une durée de 25 heures.

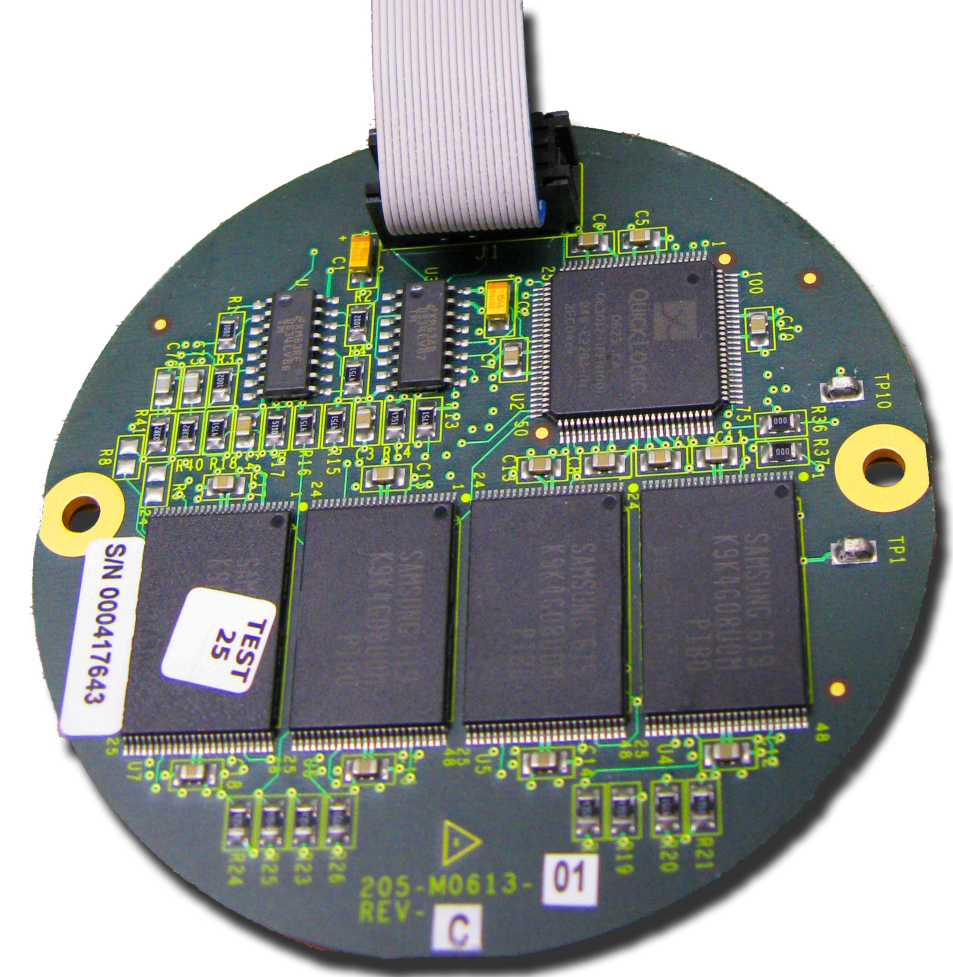
Une nouvelle interface entre les capteurs analogiques des avions et l'enregistreur numérique voit le jour : il s'agit du FDAU-*Flight Data Acquisition Unit* ou unité d'acquisition des données de vol.

À partir de 1974, les enregistreurs de paramètres de vol ainsi que de conversations doivent obligatoirement être équipé d'un dispositif ULB ou ULD permettant sa localisation sous l'eau grâce à un signal à 37,5 kHz émis durant 30 jours.

À la fin des années 1970 et au début des années 1980, l'OACI recommande que les FDR puissent enregistrer simultanément 32 paramètres. Mais le problème est que ces recommandations ne s'appliquent seulement qu'aux nouveaux modèles d'avions. Les plus anciens, eux, peuvent continuer à voler avec les FDR à film métallique ce que bien des agences comme le NTSB (*National Transport Safety Board*) dénoncent, car il s'avère que dans 48% des accidents, ces anciens FDR n'ont pas fonctionné et se sont, donc, révélés inutiles pour les enquêtes subséquentes.

Les enregistreurs de troisième génération.

Depuis 1985, les bandes magnétiques des enregistreurs sont remplacées par des cartes de mémoire dites « *solid state* ». Actuellement, il s'agit de mémoires



Carte mémoire d'un enregistreur « solid state ». On peut constater la simplicité de celle-ci par rapport à l'enregistreur à bande magnétique illustré à la page précédente (ATSB & Pierre Gillard).

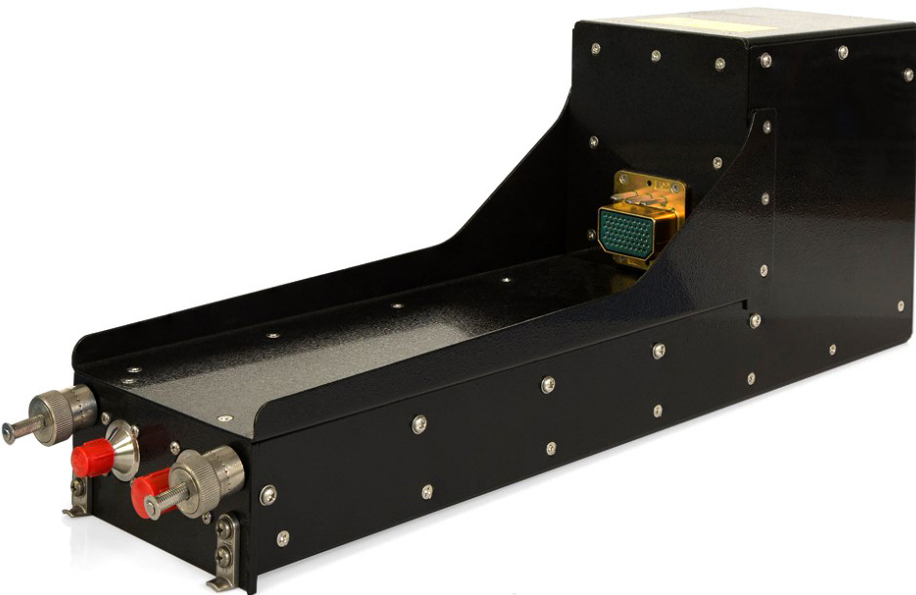
de type flash. Il est évident que cette technologie exclusivement numérique présente de très nombreux avantages au niveau de l'es-

pace utilisé et de l'absence de mécanismes complexes. Leur fiabilité en est, par voie de conséquence, accrue. De plus, ils ne nécessitent pas de maintenance particulière et sont, dès lors, moins coûteux à l'usage. Enfin, les données enregistrées sont immédiatement disponibles, peuvent être plus facilement récupérées et traitées à des fins d'analyse.



L'arrivée des « wide bodies », comme le Lockheed L.1011 TriStar, à la fin des années 1960 et au début des années 1970 a nécessité l'augmentation du nombre de paramètres sur les FDR (Ralph Clint).

Avec l'introduction de cette nouvelle technologie et des données potentiellement disponibles en quelques minutes, les FDR peuvent aussi avoir d'autres fonctions utiles à l'analyse des paramètres techniques de l'aéronef permettant, par



Certains fabricants, comme Flight Data Systems, proposent un FDAIU-Flight Data Acquisition Interface Unit qui permet l'installation d'un SSFDR à l'emplacement prévu pour un ancien FDR analogique sans devoir modifier le câblage à bord de l'aéronef (Flight Data Systems).

exemple, d'effectuer de la maintenance préventive ou de détecter un composant défectueux.

Au niveau des dénominations, on parle, désormais, de SSFDR-Solid State Flight Data Recorder et de SSCVR-Solid State Cockpit Voice Recorder. La capacité d'enregistrement de ce dernier

passé de 30 minutes sur les premiers modèles disponibles à partir de 1992 à deux heures sur de nouveaux systèmes qui sont proposés depuis 1995.

Depuis le 1^{er} janvier 2016, l'Annexe 6 de l'OACI bannit l'utilisation des enregistreurs munis de bandes magnétiques.

Les FDR-Flight Data Recorders.

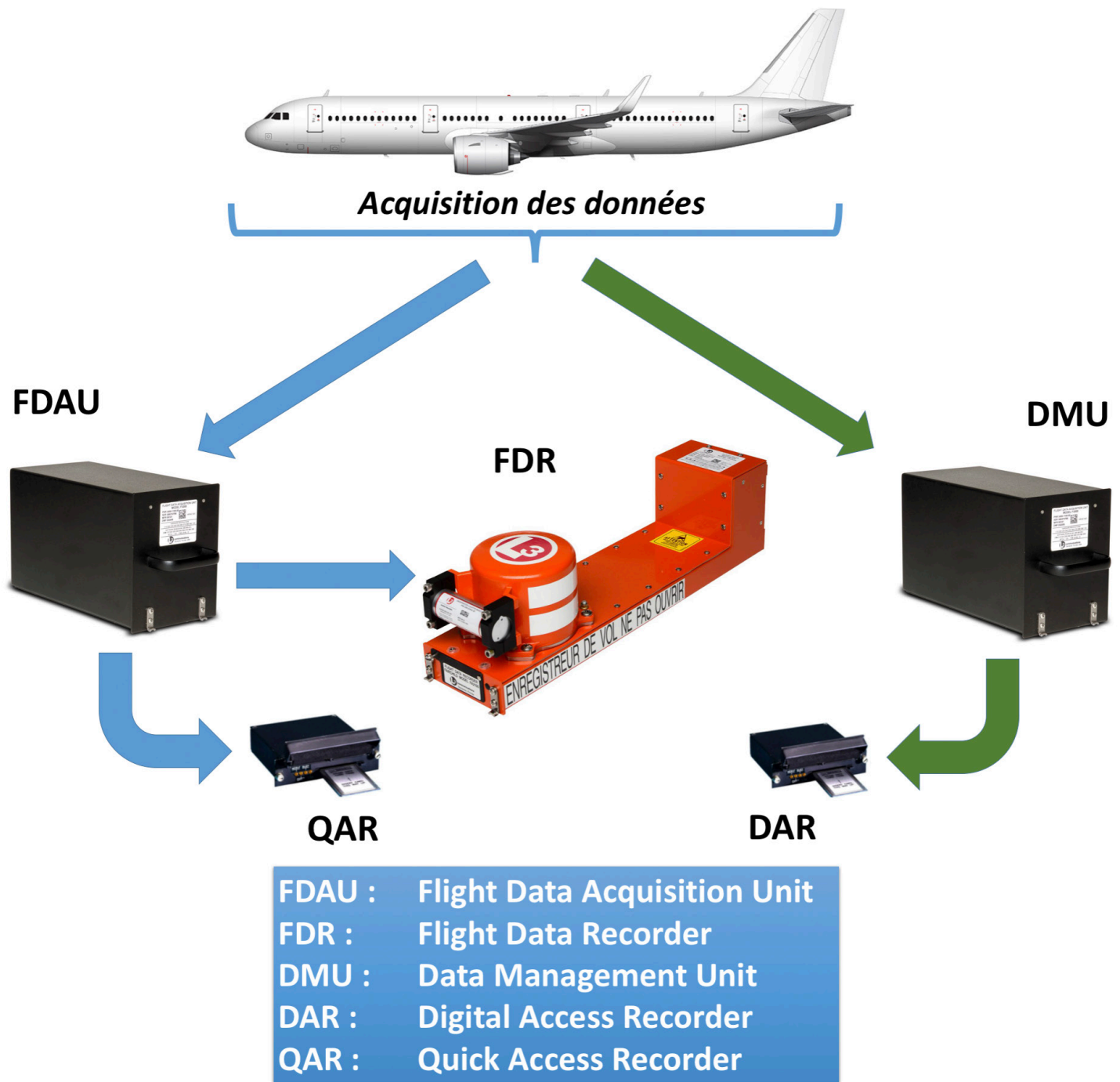
Les enregistreurs de données de vol diffèrent largement d'un modèle d'aéronef à un autre et le nombre de paramètres enregistrés dépend aussi de l'âge de l'appareil. Mais, de manière générale, il y aura toujours au minimum les cinq paramètres suivants :

- L'altitude-pression.
- La vitesse de l'air indiquée (IAS-Indicated Air Speed).
- Le cap magnétique.
- L'accélération normale.
- L'activation des transmissions afin de synchroniser les données du FDR avec les conversations du CVR.

À l'origine, pour mesurer un paramètre, on utilisait un capteur analogique générant une tension électrique en proportion avec la grandeur mesurée. Donc, pour chaque paramètre analysé, un fil électrique reliait directement le capteur au FDR.



Le QAR-Quick Access Recorder permet d'obtenir une copie des données du FDR directement à partir du cockpit (Curtiss Wright).



Implantation de l'enregistreur de paramètres de vol FDR et des composants qui y sont reliés à bord d'un avion (Pierre Gillard).

Avec l'augmentation du nombre de paramètres, il s'est avéré impossible de conserver la même architecture de liens électriques directs entre les capteurs et le FDR. Il a donc fallu créer des interfaces agissant comme concentrateurs de données; il s'agit des FDAU-Flight Data Acquisition Units déjà

évoqués plus haut. Actuellement, les FDAU peuvent traiter des milliers de paramètres couvrant tous les aspects du vol d'un aéronef.

Par ailleurs, les mêmes capteurs qui sont utilisés par la chaîne FDAU-FDR peuvent aussi être utilisés par d'autres systèmes d'acqui-

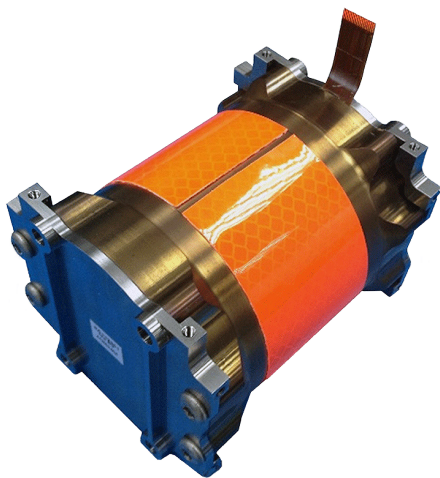
sition de données, comme les DMU-Data Management Units, destinés à d'autres usages techniques ou pour le système ACARS-Aircraft Communication Addressing & Reporting System qui envoie à intervalles réguliers les principaux paramètres de l'avion en vol à leurs exploitants en utilisant des



Teledyne propose une solution intégrant un FDAU et FDMU sous l'appellation de FDIMU-Flight Data Interface Management Unit (Teledyne).

moyens de communication VHF, HF ou SATCOM.

Certains concentrateurs de données, tel le FDIMU-Flight Data Interface Management



Module mémoire pouvant contenir jusqu'à quatre heures de conversations tel qu'utilisé dans les CVR Fortress de Curtiss Wright (Curtiss Wright).

Unit de Teledyne, utilisé sur plusieurs modèles de la famille Airbus, assure le rôle d'un FDAU, d'un DMU ainsi que d'un DAR-Direct Access Recorder dans un même boîtier. Ceci permet un gain de place et de poids dans les baies avioniques des avions.

À l'heure actuelle, les FDR doivent être en mesure d'enregistrer 25 heures de paramètres en continu.

Les CVR-Cockpit Voice Recorders.

Le CVR doit être en mesure d'enregistrer de manière ininterrompue durant deux heures les conversations de l'équipage, les transmissions radio, les tonalités d'alarmes et d'alertes, le son des mouvements des commandes et de l'activation des interrupteurs, ainsi que les bruits aérodynamiques et des moteurs.

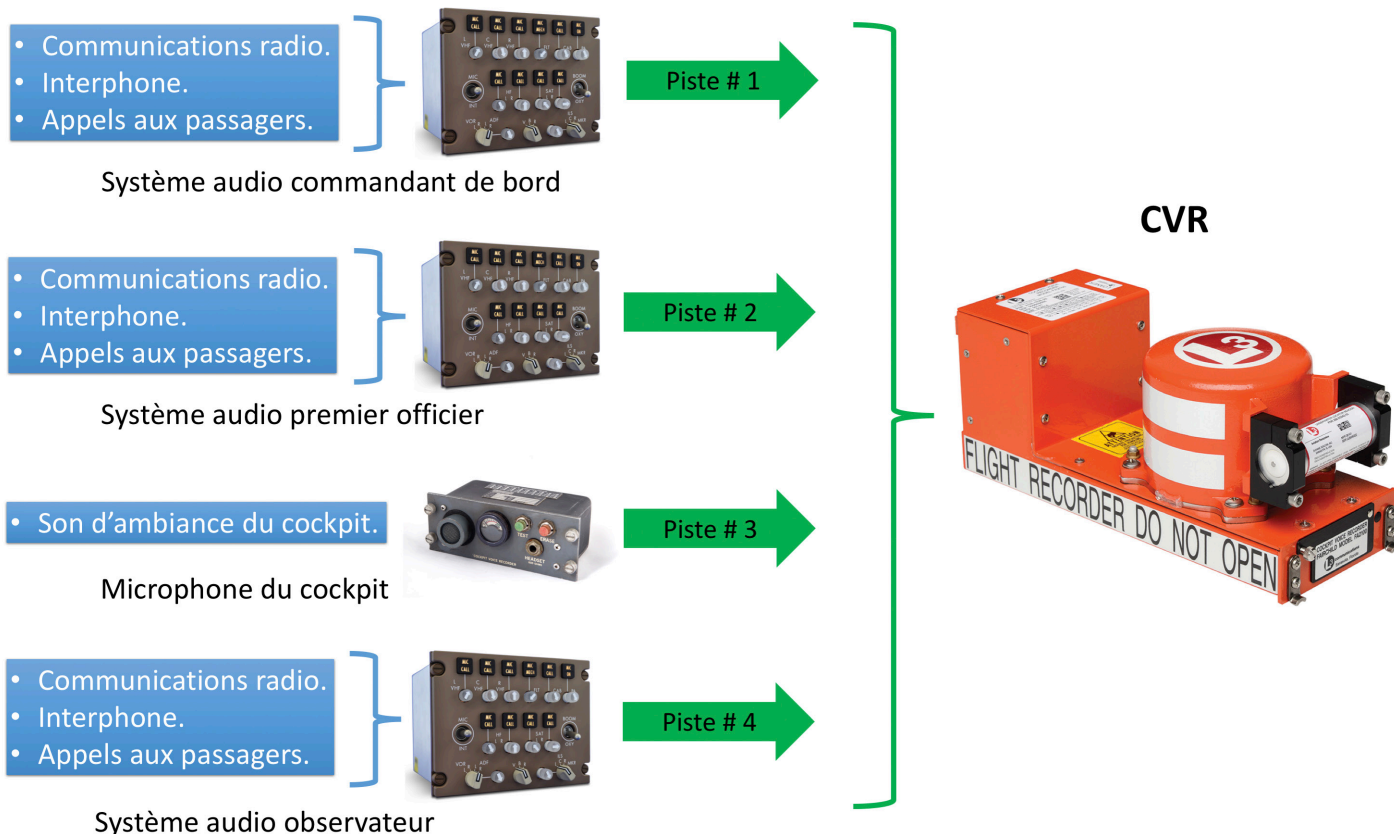
Techniquement, les CVR enregistrent quatre pistes sonores simultanément. Lorsque les enregistreurs étaient à bandes magnétiques, les rubans passaient successivement devant une tête d'effacement, une tête d'enregistrement et une tête de lecture comme n'importe quel magnétophone. Pour vérifier que le système fonctionnait correctement, on appuyait sur un bouton de test situé dans le cockpit et on branchait un écouteur connecté à un amplificateur afin d'entendre le son produit par la tête de lecture.

En poussant sur le bouton, on générait quatre salves d'impulsions audibles qui étaient enregistrées sur le ruban. Quelques instants après, celui-ci passait devant la tête de lecture et il fallait entendre distinctement les quatre salves de test dans l'écouteur. Souvent, un vu-mètre était également présent sur le panneau du CVR dans le cockpit et permettait de visualiser le son produit par la tête de lecture.

Actuellement, les SSCVR enregistrent toujours quatre pistes sonores généralement organisées comme suit :

- Ensemble des communications radio, d'interphone et d'appels aux passagers provenant du système audio du commandant de bord.
- Ensemble des communications radio, d'interphone et d'appels aux passagers provenant du système audio du premier officier.
- Le son d'ambiance du cockpit capté par un microphone (CAM-Cockpit Area Microphone).
- Autres signaux de conversations, par exemple provenant du système audio du troisième siège (observateur).

La bande passante exigée pour les CVR s'étend de 150 Hz à 5 ou 8 kHz, ce qui est plus large que celle habituellement requise pour les radiocommunications qui va de 300 Hz à 3 kHz.



Implantation de l'enregistreur de conversations CVR à bord d'un avion (Pierre Gillard).

Bien entendu, les SSCVR disposent des convertisseurs analogiques-numériques et numériques-analogiques requis, car les conversations sont enregistrées sous forme numérique.

Autres systèmes mesurant des paramètres techniques.

Sur des aéronefs plus petits, notamment à bord des hélicoptères, il existe souvent de petits enregistreurs de paramètres techniques qui permettent d'effectuer de la maintenance préventive et de comptabiliser automatiquement le temps ainsi que les cycles des différents composants principaux de l'appareil. On peut les trouver sous la désignation « HUMS-

Health and Usage Monitoring System ». Bien entendu, il ne s'agit pas de FDR même si, en cas d'accident, ils peuvent se révéler fort utiles dans la compréhension d'un accident. L'auteur a déjà personnellement eu l'occasion de pouvoir analyser le résultat d'un enregistrement d'un tel dispositif installé sur un

hélicoptère de la Sécurité Civile française qui s'était crashé. La raison de l'accident est immédiatement apparue limpide à la simple vue de l'évolution des paramètres juste avant l'accident. Dans des cas tels que celui-là, on pourrait considérer ces systèmes comme des « FDR du pauvre » !



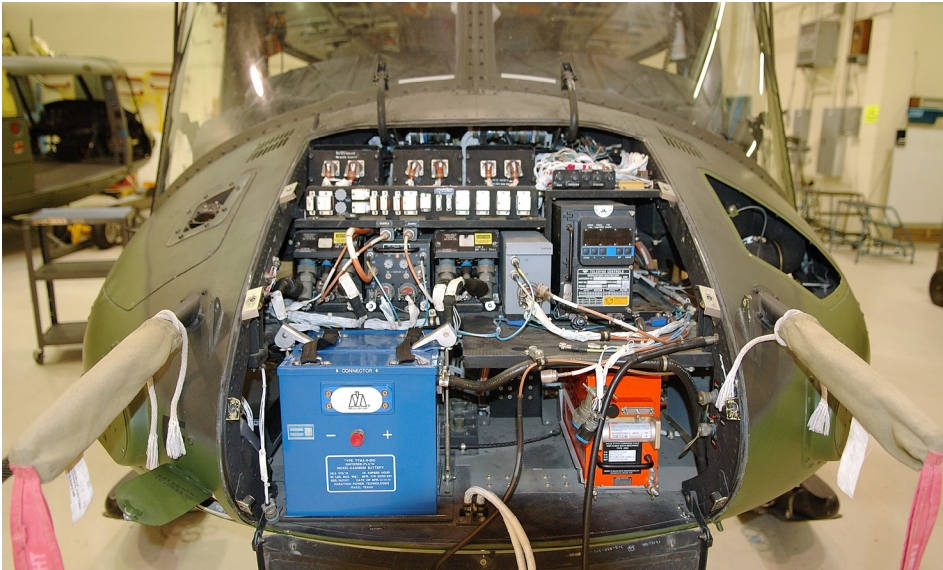
Le panneau de commande de l'enregistreur de conversations dans le cockpit d'un Dornier Do-328. À gauche du vumètre, le microphone de prise de son d'ambiance (CAM-Cockpit Area Microphone) (Pierre Gillard).



Ci-contre : *l'Appareo Vision 1000 est un enregistreur universel qui peut être installé sur n'importe quel type d'aéronef. Simplement connecté à une alimentation, il enregistre les informations d'attitude et de position, ainsi que le son ambiant et une image vidéo du cockpit (Appareo).*

Emplacement des enregistreurs à bord des aéronefs.

Les premiers enregistreurs de vol, pouvant résister à des impacts de 100 G, étaient tout simplement placés, en général, dans les baies avioniques des avions parmi les autres équipements électroniques. Suite à plusieurs accidents où l'enregistreur n'a pas résisté lors d'accidents, la norme a exigé que les FDR soient capables de survivre à un impact de 1000G. Simultanément, on a commencé à installer les enregistreurs à l'arrière de l'avion où, du fait de la résistance structurale et des forces exercées durant la majorité des accidents, celui-ci a de meilleures chances de résister.

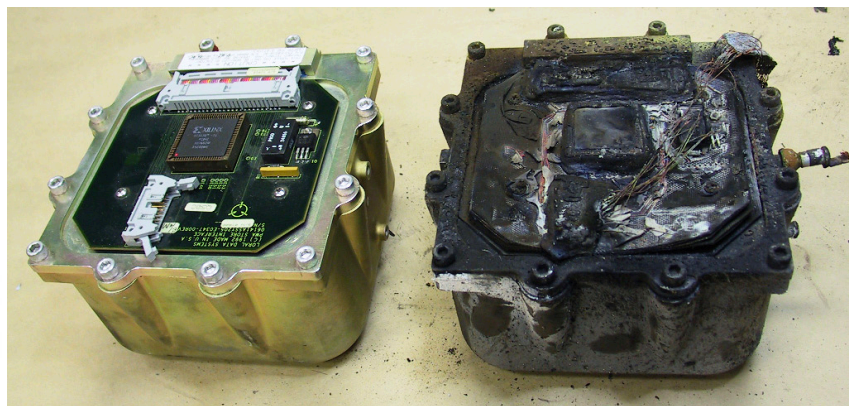


Au centre : *les Bell CH-146 Griffon de l'Aviation royale canadienne sont équipés de CVFDR installés dans le nez des appareils. Ci-dessus :* *un CVR Fairchild A1000A monté dans le cône de queue d'un avion d'affaires de type Bombardier (Canadair) CL601 Challenger (Pierre Gillard).*

Certains hélicoptères de moyenne ou de grosse capacité sont équipés de CVFDR. En général, ceux-ci sont installés dans le nez, mais, parfois, on peut aussi les trouver dans les poutres de queue.

Interrupteurs inertiels.

En fonctionnement normal, les CVR et les FDR fonctionnent en étant alimentés par le système de génération et de distribution électrique DC de l'aéronef. En cas d'accident grave avec éclatement de l'aéronef, l'alimentation électrique des boîtes noires est naturellement interrompu par la rupture des fils électriques d'alimentation. Elles cessent



Ci-dessus, à gauche : deux exemples d'interrupteur inertiels coupant l'alimentation électrique des boîtes noires lors d'un impact violent (Inertia Switch). Ci-dessus, à droite : comparaison entre un module mémoire en bon état et un autre détruit par le feu (ATSB).

donc d'enregistrer et c'est exactement ce qu'il faut !

Par contre, en cas d'accident où l'alimentation électrique reste malgré tout en fonctionnement, il est nécessaire de couper celle-ci afin que les CVR et FDR cessent de continuer à enregistrer et éventuellement de s'auto-effacer. C'est la raison pour laquelle on introduit, en série avec l'alimentation électrique, un simple interrupteur inertiels qui, en cas de choc violent, interrompt l'alimentation électrique de l'enregistreur.

Par ailleurs, depuis 2016, on exige aussi que les CVR continuent à fonctionner de manière autonome durant 10 minutes après l'interruption de l'alimentation électrique. Ceci s'effectue par l'adjonction d'un petit module contenant une batterie autonome.

Les tests subits par les enregistreurs actuels.

Pour être certifiés, les CVR et FDR doivent passer toute

une série de tests afin de vérifier que ceux-ci peuvent résister à tout type d'accident. Ceux-ci sont définis par la norme européenne EUROCAE ED112 (*European Organization for Civil Aviation Equipment*) qui sert de référence aux autorités na-

tionales de très nombreux pays. Cette norme remplace les précédentes, ED55 pour les FDR et ED56A pour les CVR. Le fabricant L-3 Fairchild décrit quelques uns des tests de validation qu'il effectue sur ses enregistreurs dans une brochure :



L'enregistreur de conversations du British Aerospace Jetstream 3201 N875JX de Corporate Airlines a été récupéré par les enquêteurs du NTSB en relativement bon état après l'accident du vol 5966 le 19 octobre 2004 qui a fait 13 morts et deux blessés sérieusement atteints (NTSB).



On constate sur cette photo que le module mémoire de ce CVR est pratiquement intact. Il s'agit de celui de l'Airbus A320-211 D-AIPX de la compagnie Germania qui s'était écrasé le 24 mars 2015 dans les Alpes françaises du Sud faisant 150 victimes. Son analyse, ainsi que celle du FDR, a permis de rapidement conclure que le premier officier avait profité de l'absence du commandant de bord dans le cockpit pour volontairement écraser l'appareil au sol (BEA).

« *Test à l'impact* : il est admis qu'une décélération de 3400 G en 6,5 millisecondes est la norme requise pour faire face à la plupart des scénarios d'accidents. Ce test est actuellement réalisé à l'aide d'un canon. Un CVR Fairchild a déjà survécu à un crash estimé à plus de 6000 G ».

« *Écrasement statique* : dans ce test, une pression équivalente à 5000 livres (22,25 kN) est appliquée selon six axes ». Il doit être exécuté durant une période de cinq minutes.

« *Test de perçage* : pour le test de résistance au perçage, on utilise une charge de 500 livres (225 kg) que l'on laisse tomber d'une hau-

teur de 10 pieds (3 mètres). Il a été modifié pour être accompli à l'aide d'une pointe d'acier renforcé ».

« *Test de résistance au feu* : les unités sont soumises à une température de 1100°C durant 60 minutes. Ensuite, elles doivent encore subir 260°C pendant 10 heures (...) Les nouveaux critères de la FAA exigent maintenant de prolonger d'une heure le test à 1100°C, critères que tous les modèles *solid state* de L-3 rencontrent ou dépassent ».

Effacement des boîtes noires.

Certains pilotes, après avoir fait ou dit une bêtise, seraient peut-être tentés de

vouloir effacer le contenu du CVR ou du FDR. Bien entendu, des protections ont été imaginées afin que ce soit impossible d'effacer le contenu d'une boîte noire à bord d'un aéronef en vol ou lorsqu'il est en fonctionnement.

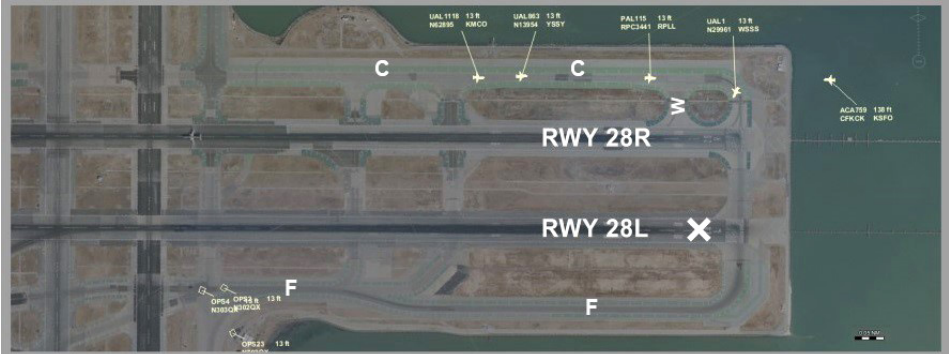
En général, pour être en mesure de provoquer l'effacement d'un enregistreur, il faut qu'au minimum l'avion soit au sol (*WOW-Weight on Wheels*), les moteurs coupés et le frein de stationnement engagé.

Utilisation et interprétation des données et des conversations enregistrées.

Suite à un accident ou un incident aérien, les enquêteurs de l'organisme national en charge de déterminer les causes qui ont mené à celui-ci vont prendre possession des boîtes noires afin de transférer leur contenu sur des ordinateurs pour l'analyser et l'interpréter. La plupart des grands pays disposent des laboratoires capables de traiter les boîtes noires. Au Canada, c'est le BST qui se charge de cette tâche. Aux États-Unis, c'est le NTSB, en France, le BEA et en Australie, l'ATSB. Les pays disposant de moins de ressources feront appel aux pays disposant des équipements et du personnel adéquats.

Dans le cas d'un incident où l'aéronef n'est pas immobi-

lisé, il est important que les enquêteurs se dépêchent de récupérer le contenu des boîtes noires. Ainsi, par exemple, lorsque le 7 juillet 2017, le vol Air Canada AC759 (Airbus A320 C-FKCK) en provenance de Toronto-Pearson, a failli provoquer une catastrophe à San Francisco en s'alignant pour l'atterrissage sur une voie de circulation (« Charlie ») occupée par quatre autres appareils en attente pour le décollage sur la piste 28R, les enquêteurs du NTSB ont tardé à entreprendre les démarches afin de mettre la main sur le contenu des deux boîtes noires. Lorsque ceux-ci ont introduit la demande auprès de leurs homologues du BST, pour le CVR, il était trop tard : le contenu avait déjà été effacé. Dans, dans le cas présent, les enregistrements des conversations ayant mené à ce grave incident auraient très certainement permis d'identifier



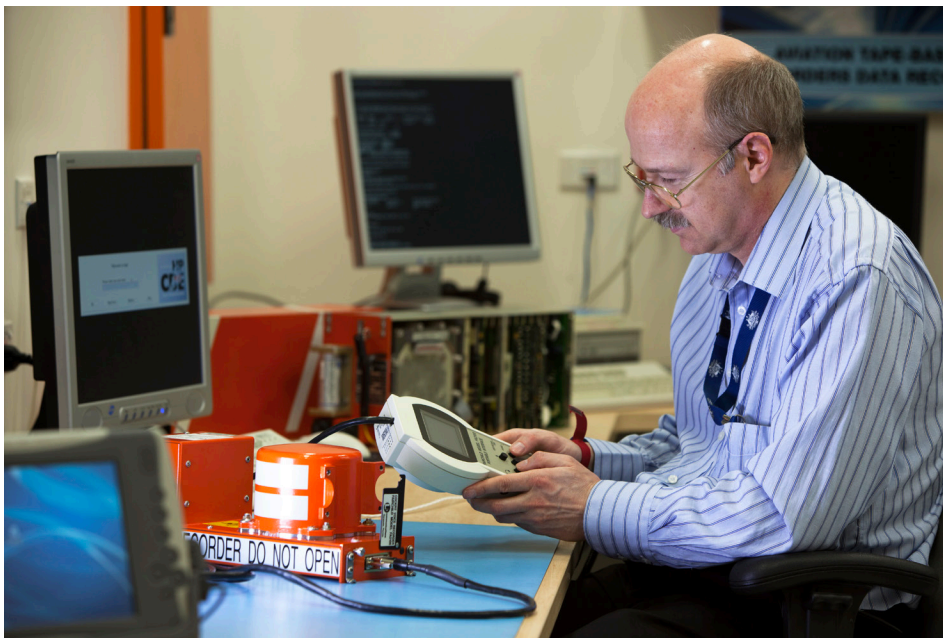
UAL1 (23:56:01): where's this guy?



Dans le cas de la quasi-catastrophe ayant impliqué un Airbus A320 d'Air Canada (ACA759) à San Francisco le 7 juillet 2017, les enquêteurs du NTSB ont tardé de mettre la main sur les deux boîtes noires et, entre-temps, le CVR avait été effacé. Ceux-ci ont donc dû se contenter d'autres sources, comme des caméras de surveillance ou des enregistrements de la tour de contrôle pour établir la séquence des faits (NTSB).

clairement et rapidement plusieurs facteurs humains ayant influencé l'équipage au cours de l'approche. Les enquêteurs n'auront, maintenant, d'autre choix que de

se fier à la parole du commandant de bord et du premier officier, ainsi que sur les conversations de la tour de contrôle pour mener leur enquête.



Enquêteur de l'ATSB analysant le contenu d'un enregistreur de conversations en Australie (ATSB).

Lors d'une enquête suite à un incident ou un accident aérien, le contenu des boîtes noires n'est qu'un élément permettant d'élucider la ou les causes de celui-ci. En effet, des témoignages de personnes impliquées ou ayant assisté à l'événement, des enregistrements d'échanges avec le contrôle du trafic aérien, des enregistrements d'écrans radar, des vidéos provenant de caméras de surveillance ou de témoins et l'analyse des débris de l'aéronef vont aussi être très utiles à l'enquête.



ATSB Report A0-2010-019 VH-ANB Animation
Released under Section 25 of the TSI Act 2003
UTC: 00:38:20
Countdown: -00:01:40



En haut : une fois les données et les conversations récupérées des deux boîtes noires, l'enquête proprement dite peut débuter en effectuant des recoupements, par exemple, avec la nature du terrain ou les conditions météorologiques prévalant au moment de l'accident ou de l'incident. Ci-dessus : afin d'aider les enquêteurs, des logiciels de simulation permettent de recréer le vol sur base des données provenant, notamment, du FDR (ATSB).

Souvent, dans le cas d'un accident, les boîtes noires sont endommagées, parfois très sévèrement abîmées. Les enquêteurs vont, dans ce cas, prélever seulement l'enregistreur et le connecter à l'interface adéquate, un

« *golden chassis* » permettant de télécharger les données et les conversations sur des ordinateurs disposant de logiciels adéquats. Bien entendu, lorsque les boîtes noires ne sont pas endommagées, il est possible d'ef-

fectuer une lecture directe de leur contenu.

Sur les avions les plus récents, on peut aussi trouver un QAR-*Quick Access Recorder* qui contient, en fait, une copie des données enregistrées par le FDR provenant du FDAU. Installé à un endroit facilement accessible, comme son nom l'indique, il permet de récupérer rapidement les données sans devoir démonter le CVR ou y avoir accès.

Une fois les données et les conversations téléchargées dans les ordinateurs des enquêteurs, ceux-ci vont pouvoir procéder à l'analyse et à l'interprétation de ce qui s'est produit durant la période précédant l'incident ou l'accident. Actuellement, plusieurs logiciels existent afin de simuler l'évolution de l'aéronef sous forme d'une présentation semblable à celle de Flight Simulator de Microsoft. Ceci facilite grandement la tâche des enquêteurs quant à l'interprétation des maillons de la chaîne d'événements ayant mené à l'incident ou l'accident.

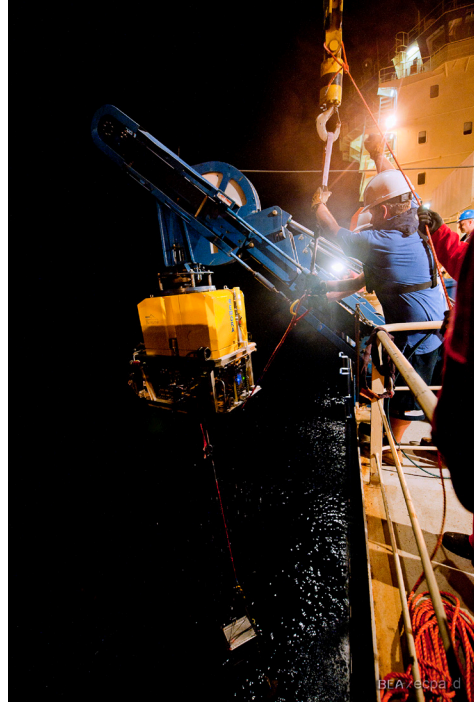
Le cas d'Air France AF447.

Le 1^{er} juin 2009, l'Airbus A330-203 F-GZCP est affecté au vol Air France AF447 qui doit emmener 228 passagers et membres d'équipage de Rio à Paris. Alors que l'avion vole à son altitude de croisière au niveau 350, il rencontre de mauvaises conditions climatiques qui

provoquent le givrage des sondes Pitot et qui, par voie de conséquence, génèrent des indications de vitesse air erronées. Comme c'est le cas en pareille circonstance, le pilote automatique et de gestion de l'enveloppe de vol se désengage. À partir de ce moment-là, l'équipage perd le contrôle de la situation et amène l'Airbus en décrochage. Celui-ci s'abîme au fond de l'océan trois minutes et trente secondes plus tard; il n'y a aucun survivant.

Comme c'est le cas lors de chaque catastrophe aérienne, la localisation des boîtes noires débute dès que les débris de l'avion sont repérés à la surface de l'eau. Dans le cas d'AF447, la recherche de l'épave est compliquée du fait de plusieurs facteurs tels l'absence de suivi radar, l'absence d'envoi de message de détresse (*mayday*) et l'absence de témoins. C'est ainsi que les premiers restes de l'Airbus sont seulement découverts cinq jours après la catastrophe. Mais au terme de la durée de vie de 30 jours des batteries des ULD, le CVR et le FDR ne sont toujours pas localisés. Il faut dire qu'à cet endroit, le fond de l'océan est très accidenté et les profondeurs varient de 864 mètres à 4606 mètres.

À ce moment-là, la seule information dont dispose les enquêteurs, c'est la dernière transmission du système ACARS qui, une fois décodée, indique un dys-



Repêchage et sécurisation du CVR du vol Air France AF447 dans l'océan Atlantique le 2 mai 2011 presque deux ans après l'accident. La photo de cet enregistreur de conversations gisant au fond de l'océan se trouve sur la page de titre de cet article (MT Peschel/BEA-ECPAD).

fonctionnement des sondes Pitot. Toutefois, ce simple problème n'explique pas la perte de l'appareil.

Ce n'est qu'au printemps 2011, après avoir engagé des moyens de recherche sous-marine importants que les enquêteurs mettent enfin la main sur les deux boîtes noires dont le contenu est analysé durant le mois de mai 2011. C'est ainsi que, deux ans après l'accident, on a pu comprendre que c'est la très mauvaise gestion du dysfonctionnement des sondes Pitot par l'équipage qui a causé la perte fatale du vol AF447 et de toutes les personnes présentes à son bord.

Le cas AF447 a mis clairement en lumière que la récupération rapide des boîtes noires est absolument es-

sentielle afin de déterminer sans délai les causes d'un accident et que la technologie devait évoluer afin que des recherches aussi fastidieuses et aussi longues ne soient plus nécessaires dans le cas d'un avion abîmé en mer. On estime que la récupération du CVR et du FDR aura coûté environ 31 millions d'euros, la moitié étant assumée par le BEA et les deux quarts restants respectivement par Airbus et Air France.

Et celui du Malaysia Airlines MH370.

Le 8 mars 2014, Le vol MH370 décolle de Kuala Lumpur pour rejoindre Pékin. En chemin, alors que l'avion survole le golfe de Thaïlande, le transpondeur est coupé et le Boeing 777-2H6(ER) 9M-MRO disparaît des contrôles



D'importants moyens aériens et maritimes ont été déployés par plusieurs pays dans l'océan Indien avec l'espoir de retrouver les boîtes noires du Boeing 777 de Malaysia Airlines. Hélas, les recherches se sont avérées vaines et elles ont été abandonnées. À l'image, on aperçoit le navire de recherche britannique HMS Echo survolé par un Lockheed AP-3C Orion de patrouille maritime australien le 12 avril 2014 (LS(HM) Andy Coutanche/UK MOD).

radar vietnamiens sans laisser de trace. Des opérations de recherche sont immédiatement lancées tout au long de la route probable qui aurait dû être suivie par le vol MH370, principalement en mer de Chine méridionale.

Mais, un radar militaire malaisien détecte des échos au nord-ouest de Penang qui pourraient provenir du Boeing, mais comme ce dernier n'est pas supposé à cet endroit, ce ne sera que plus tard que l'on pourra associer ces échos au vol MH370 qui, pour une raison inconnue a changé complètement de direction.

Clairement, les pilotes veulent disparaître volontairement sans laisser de trace

et débranchent tous les systèmes pouvant donner un indice sur leur position, comme le transpondeur ou le système ACARS. Toutefois, le système de communication satellite Inmarsat 3 demeure actif, probablement à l'insu de l'équipage. Sept « pings » sont ainsi transmis alors que l'avion survole l'océan Indien.

Une fois les données de position reçues par le système Inmarsat connues des enquêteurs, les recherches se déplacent ensuite vers l'océan Indien. Le fait que l'avion s'y est bien abîmé est confirmé par la découverte de débris du Boeing 777 échoués sur la plage de Saint-André à l'île de la Réunion le 29 juillet 2015. Tou-

tefois, tous les efforts entrepris pour localiser l'épave et ses boîtes noires s'avèrent vains et les recherches sont définitivement arrêtées le 17 janvier 2017, laissant le mystère du vol MH370 entier.

Cette disparition inexplicable d'un Boeing 777 renforce les conclusions qui avaient déjà été tirées lors des recherches des boîtes noires du vol Air France AF447. La technologie des CVR et des FDR doit évoluer afin que ceux-ci puissent aisément être retrouvés en cas d'accident en mer.

Le présent et le futur.

Suite à l'accident du vol Air France AF447, une réflexion a lieu à l'OACI à Montréal en mars 2010 lors d'une réunion composée de 600 experts des pays contractants afin d'évaluer les améliorations possibles pour récupérer aisément les données de vol ainsi que les conversations du poste de pilotage.

Une solution avancée serait que chaque avion transmette en continu toutes les informations envoyées aux boîtes noires par satellite. Ainsi, ce qui se passe à bord d'un avion pourrait être analysé au sol en temps réel. Toutefois, cette solution est totalement irréaliste compte tenu de l'encombrement des fréquences radio et de la saturation du spectre qu'un tel dispositif engendrerait.

En mai 2011, l'OACI annonce qu'elle pencherait plutôt pour une autre solution : des boîtes noires éjectables et flottantes, ce qui permettrait de les retrouver beaucoup plus facilement après un accident, surtout lorsque celui-ci se déroule au-dessus d'une étendue d'eau.

Comme mesure intérimaire, l'OACI recommande aussi que les ULD puissent émettre durant 90 jours au lieu de 30 auparavant. Cette mesure entrera définitivement en vigueur en 2018. Par ailleurs, elle recommande aussi que la portée des émissions acoustiques sous-marines passe de deux à neuf kilo-



D'ici 2019, Airbus devrait équiper systématiquement tous ses avions destinés à survoler les étendues océaniques d'un CVFDR implanté à l'avant de l'appareil ainsi qu'un ADFR déployable dans sa dérive (Pierre Gillard).

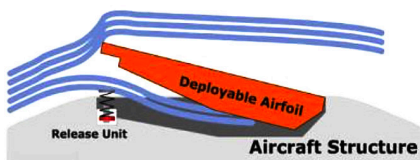
mètres. Simultanément, les ULD transmettraient une seconde fréquence acoustique de 8,8 kHz capable d'une portée sous l'eau de 12 miles nautiques (environ 22 kilomètres). Cette dernière exigence sera obligatoire à compter de 2019.

Suite à la disparition du vol MH370, le fait que l'avion ait envoyé sporadiquement des informations de position via le système de communication par satellite Inmarsat a donné l'idée que chaque appareil en vol océanique pourrait transmettre systématiquement sa position toutes les quinze minutes à un centre de contrôle des vols de sa compagnie. Ainsi, en cas d'accident, on aurait moins de difficulté à retrouver l'épave ainsi que les boîtes noires. Cette proposition a été formalisée en février 2015 pour être appliquée à compter de février 2017. Appelé GADSS-Global Aeronautical Distress Safety System, en 2021, le système devrait être amélioré pour transmettre une position toute les minutes en cas de déviation avec le plan de vol initial ou en cas d'urgence.

L'OACI suggère aussi que tous les nouveaux avions certifiés à compter de 2016 soient équipés de deux CVFDR enregistrant les mêmes données de vol et les mêmes conversations. L'un est installé à l'avant de l'ap-



Exemple d'enregistreur combiné CVFDR compact proposé par Universal (Universal).



Principe d'éjection de l'ADFR (Automatic Deployable Flight Recorder) qui équipera une bonne partie des Airbus à compter de 2019 (Airbus/L3 Communications/DRS Technologies).

pareil et l'autre à l'arrière. Ceci multiplie les chances d'en trouver au moins un des deux exploitable et qui contiendrait l'ensemble des informations utiles.

Depuis 2016, la durée d'enregistrement des conversations du CVR est passée de 30 minutes à deux heures. En 2021, celle-ci sera portée à 25 heures pour rejoindre le standard des FDR.

Dans le futur, on parle également d'enregistrer des images vidéo du cockpit en plus des conversations audio des CVR.

Airbus anticipe.

En juin 2017, Airbus annonce aller de l'avant en matière d'innovations concernant les boîtes noires. En effet, à partir de 2019, tous les appareils de types A330, A350XWB, A380 et A321LR qui sortiront des chaînes de montage, soit les modèles plus amenés à survoler les grandes étendues océaniques, seront équipés d'ADFR-Automatic Deployable Flight Recorders. Ces nouvelles boîtes noires CVFDR d'une capacité d'enregistre-

ment de 25 heures flotteront et seront équipées d'une balise de détresse autonome envoyant leur position GPS au système COSPAS-SARSAT, permettant ainsi leur localisation rapide.

Le constructeur européen, en partenariat avec L-3 Com, n'a donc pas attendu l'échéance de 2021 pour passer à l'action. L'ADFR devrait être installé dans la dérive, à peu près à mi-hauteur. Il sera conçu pour être monté parfaitement encasté de telle manière à ne provoquer aucune traînée aérodynamique. Pour être éjecté et activé, il faudra, soit une action de déformation de la structure, soit une détection hydrostatique correspondant à une profondeur de

deux mètres. Un mécanisme à ressort facilitera l'éjection. Cette configuration particulière ne permettra malheureusement pas une mise à niveau des aéronefs déjà en service.

À l'avant de l'avion, on trouvera un CVFDR conventionnel ayant enregistré les mêmes données et les mêmes conversations que l'ADFR. Ainsi, les chances de retrouver au moins un des deux dispositifs sont améliorées avec cette configuration.

Gageons que l'exemple d'Airbus sera suivi rapidement par d'autres constructeurs avant l'échéance de 2021 afin que des événements futurs semblables à ceux d'Air France AF447 et Malaysia Airlines MH370 puissent être plus rapidement élucidés. De cette manière, la rétroaction visant à l'amélioration de la sécurité de vols ne pourra qu'être plus efficace.

L'auteur tient à remercier sa compagne Louise, ainsi que ses collègues Frédéric et Jacques, pour la relecture de cet article ainsi que pour leur précieux conseils.



L'Airbus A350 sera un des premiers appareils du constructeur européen à être équipé d'ADFR (Pierre Gillard).