



Exploitation des enregistreurs de paramètres

*Aspects techniques
et réglementaires*

ETUDE

Table des matières

GLOSSAIRE	4
INTRODUCTION A L'ETUDE	5
1 - ASPECTS TECHNIQUES.....	6
 1.1 Evolution technique des enregistreurs de paramètres	6
1.1.1 Enregistreurs métalliques et photographiques	6
1.1.2 Enregistreurs à bandes magnétiques	7
1.1.3 Boîtier d'acquisition.....	7
1.1.4 Enregistreurs à mémoires statiques	8
1.1.5 Enregistreurs non protégés.....	8
 1.2 Chaînes d'acquisition de paramètres	9
1.2.1 Principe de fonctionnement du calculateur d'acquisition.....	9
1.2.2 Documents de décodage	9
1.2.3 Décodage d'un paramètre	10
 1.3 Vérification du fonctionnement du système d'enregistrement.....	10
1.3.1 Vérification des paramètres enregistrés.....	11
1.3.2 Contrôle d'étalonnage des chaînes de mesure et d'acquisition	11
2 - ASPECTS REGLEMENTAIRES ET OPERATIONNELS.....	15
 2.1 Introduction à la réglementation.....	15
2.1.1 Généralités	15
2.1.2 Annexe 6, première partie.....	15
2.1.3 JAR OPS 1 et OPS 1	18
2.1.4 Autres textes français	20
2.1.5 Informations sur la réglementation américaine	21
 2.2 Comparatif des exigences réglementaires.....	22
2.2.1 Programme d'analyse des paramètres enregistrés	22
2.2.2 Inspection de l'enregistrement des paramètres	22
2.2.3 Contrôle d'étalonnage des chaînes de mesure et d'acquisition de l'enregistreur....	23
2.2.4 Documentation dont l'exploitant est responsable.....	24
 2.3 Problèmes rencontrés lors de l'exploitation des enregistreurs.....	25
2.3.1 Données absentes ou incomplètes	25
2.3.2 Documents de décodage incomplets ou indisponibles	27
2.3.3 Problèmes d'étalonnage	29

2.4 Etat des lieux dans vingt compagnies aériennes françaises	30
2.4.1 Participation des compagnies aériennes	30
2.4.2 Maintenance des enregistreurs.....	30
2.4.3 Retour d'expérience et analyse des vols	30
2.4.4 Documents de décodage	31
2.4.5 Contrôle d'étalonnage des chaînes de mesure et d'acquisition	32
2.4.6 Récapitulatif	33
3 - CONCLUSIONS.....	34
4 - RECOMMANDATIONS DE SECURITE.....	35
4.1 Présence d'enregistreurs à bord	35
4.2 Documents de décodage	35
4.3 Analyse des paramètres enregistrés	36
4.4 Qualité de l'enregistrement.....	37
4.5 Vérification des paramètres enregistrés	37
4.6 Contrôle d'étalonnage des chaînes de mesure et d'acquisition.....	38
LISTE DES ANNEXES.....	39

Glossaire

AESA	Agence européenne de la sécurité aérienne
AMC	Moyens acceptables de conformité
ARINC	Aeronautical Radio Incorporated
BCD	Binary Coded Decimal
CAA	Civil Aviation Authority (Royaume-Uni)
CASA	Civil Aviation Safety Authority (Australie)
CDN	Certificat de navigabilité
CVR	Enregistreur phonique
DAC	Direction de l'Aviation Civile
DAR	Direct Access Recorder
DFL	Grille de décodage
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DMU	Data Management Unit
ED	EUROCAE Document
EGT	Exhaust Gaz Temperature
EUROCAE	European Organisation for Civil Aviation Equipment
FAA	Federal Aviation Administration (Etats-Unis)
FAR	Federal Aviation Regulations
FDAU	Calculateur d'acquisition de données
FDR	Enregistreur de paramètres
GPWS	Avertisseur de proximité du sol
IRS	Inertial Reference System
JAA	Joint Aviation Authorities
JAR	Joint Airworthiness Requirements
kt	Nœuds
QAR	Enregistreur de maintenance
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
MOPS	Minimum Operational Performance Specifications
NTSB	National Transportation Safety Board (Etats-Unis)
SFACT	Service de la Formation Aéronautique et du Contrôle Technique
SSCVR	Solid State Cockpit Voice Recorder
SSFDR	Solid State Flight Data Recorder

INTRODUCTION A L'ETUDE

Les lectures d'enregistreurs de paramètres, qu'elles soient faites en France ou à l'étranger, mettent régulièrement en évidence différents problèmes (non possession de la documentation par l'exploitant, fourniture de documents incomplets, erronés ou périmés) qui retardent parfois significativement la validation des travaux.

Pourtant l'obtention rapide de données complètes et précises à la suite d'un accident ou d'un incident s'avère souvent critique pour l'enquête technique et, partant, pour la sécurité du transport aérien. Les données issues des enregistreurs de paramètres aident à l'identification des causes et à la détermination de mesures de prévention appropriées.

Il n'existe pas de guide ou de document unique relatif à la réglementation des enregistreurs. Plusieurs textes internationaux et français abordent ces aspects, pas toujours de façon cohérente.

Afin d'avoir une vue complète des problèmes rencontrés, le BEA a réalisé cette étude, fondée sur l'analyse de problèmes connus et sur la consultation de nombreux exploitants français. Son objectif est de sensibiliser les acteurs concernés sur l'importance des enregistreurs de vols pour la prévention des accidents et de recommander des points de progrès.

1 - ASPECTS TECHNIQUES

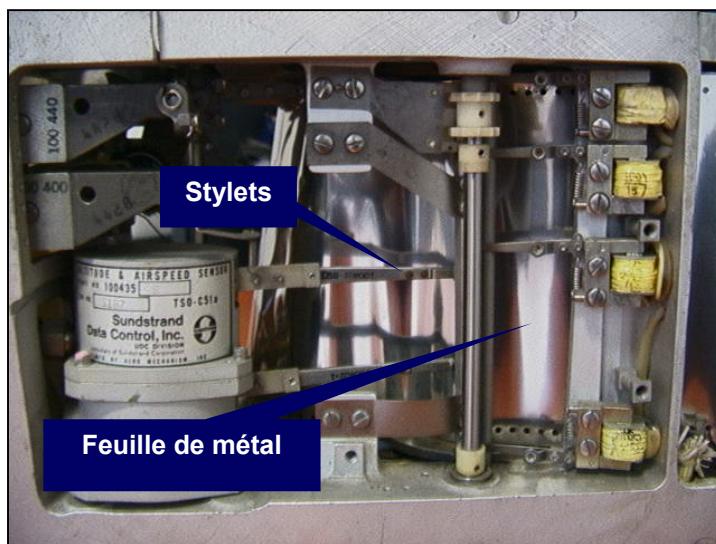
Les enregistreurs de vol, communément appelés « boîtes noires » par la presse, sont deux équipements permettant d'enregistrer des informations sur le vol. L'enregistreur de paramètres enregistre divers paramètres de vols, l'enregistreur phonique ou de conversations enregistre l'environnement acoustique du poste de pilotage. L'étude se limitera aux enregistreurs de paramètres.

1.1 Evolution technique des enregistreurs de paramètres

Les premiers efforts de la communauté aéronautique pour créer un équipement qui résiste aux accidents (impact et feu) remontent aux débuts de l'aviation civile commerciale. Mais ce n'est qu'en 1958 que les autorités mondiales de l'aviation civile ont imposé une spécification minimum pour un enregistreur de vol destiné aux enquêtes techniques.

1.1.1 Enregistreurs métalliques et photographiques

Au début des années 60, les premiers avions commerciaux à réaction (Boeing 707, DC8, Caravelle) sont équipés d'un enregistreur de paramètres (FDR). Ces enregistreurs sont constitués de stylets mécaniques qui gravent une fine feuille métallique. L'enregistreur « métallique » élabore lui-même les paramètres en prenant comme données d'entrée les capteurs de base de l'avion (accéléromètres, pression pitot, etc.). A peu près à la même époque, une technologie équivalente consiste à remplacer la feuille de métal par un film photosensible et les stylets par des rayons lumineux. C'est l'enregistreur photographique. Ces équipements n'enregistrent qu'un nombre limité de paramètres fondamentaux, cinq ou six en général (cap magnétique, vitesse, etc.).



Intérieur d'un enregistreur métallique

1.1.2 Enregistreurs à bandes magnétiques

Dès 1965, l'enregistreur de type métallique ou photographique s'avère insuffisant pour les besoins des enquêtes et la technologie de l'enregistrement magnétique permet d'une part l'invention de l'enregistreur de conversation, d'autre part l'augmentation progressive du nombre de paramètres enregistrés par le FDR.

Sur les nouveaux FDR, les paramètres ne sont plus enregistrés en continu ; ils sont d'abord échantillonnés, numérisés et multiplexés à l'intérieur d'une trame numérique d'une seconde, puis cette trame numérique est enregistrée sur la bande magnétique sous forme de signaux élémentaires codant des 0 et des 1. D'où l'appellation de DFDR pour Digital Flight Data Recorder.



Intérieur d'un enregistreur magnétique

1.1.3 Boîtier d'acquisition

Le besoin de disposer de plus en plus de paramètres ainsi que l'apparition des technologies numériques ont rendu progressivement obsolète le principe selon lequel l'enregistreur reçoit l'information des capteurs et calcule lui-même les valeurs des paramètres à enregistrer.

Un nouveau calculateur de bord a alors été chargé de la collecte des paramètres à enregistrer : c'est le calculateur d'acquisition de données appelé Flight Data Acquisition Unit (FDAU), Flight Data Interface Unit (FDIU) ou Flight Data Acquisition Card (FDAC). Ce calculateur ordonne les données ensuite envoyées à l'enregistreur de paramètres, qui se limite désormais à la fonction d'enregistrement.

Remarque : la programmation du FDAU peut être modifiée par l'exploitant.

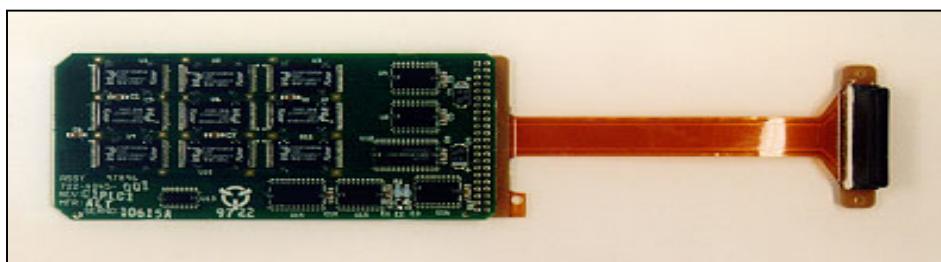
Il faut cependant noter que le boîtier d'acquisition équipe principalement les gros avions de transport public. Pour les avions de masse plus faible, la fonction d'acquisition des données reste souvent réalisée par l'enregistreur de paramètres.

1.1.4 Enregistreurs à mémoires statiques

A partir de 1985 environ, l'évolution des technologies numériques amène le remplacement du support magnétique par une carte mémoire, à base de mémoires non volatiles de type FLASH, d'où l'appellation de SSFDR pour Solid State Flight Data Recorder. L'enregistrement sur un support numérique apporte une fiabilité de restitution nettement supérieure à l'enregistrement sur bande magnétique.

La miniaturisation de la capacité mémoire a permis d'augmenter le nombre de paramètres enregistrés (plusieurs centaines), les fréquences d'échantillonnage ou la durée d'enregistrement (certains modèles offrent une capacité d'enregistrement de cinquante heures ou plus).

L'enregistreur phonique a bénéficié lui aussi de cette évolution technologique, avec non seulement l'enregistrement du son en format numérique mais aussi une durée d'enregistrement pouvant être portée à deux heures (contre une demi-heure pour les CVR à bande magnétique).



Carte mémoire d'un enregistreur « Solid State »

1.1.5 Enregistreurs non protégés

La création du boîtier d'acquisition a également permis le développement de ce qui est communément appelé « analyse systématique des vols ». En effet, l'enregistreur de paramètres était jusqu'alors le seul calculateur à contenir des valeurs enregistrées, et il n'était généralement utilisé qu'en cas d'accident. Désormais, les données élaborées par le boîtier d'acquisition peuvent être dérivées vers d'autres enregistreurs.

Il s'agit d'enregistreurs non protégés, dont le support d'enregistrement (cassette magnétique, disque magnéto-optique ou carte mémoire PCMCIA) est prévu pour être retiré et remplacé rapidement. L'accès au support d'enregistrement est situé soit directement dans le poste de pilotage soit en soute électronique.

Le Quick Access Recorder (QAR) enregistre en général exactement les mêmes données que le FDR ; le calculateur d'acquisition alimente à la fois le FDR et le QAR. Néanmoins les modèles récents de QAR comportent en plus des entrées compatibles avec les bus avions standards (ARINC 429) et peuvent acquérir ainsi des paramètres supplémentaires.

Le Direct Access Recorder (DAR) reçoit ses données du Data Management Unit (DMU) qui peut être programmé à la fois pour les paramètres à enregistrer (sélection des paramètres et des fréquences d'échantillonnages) et pour son mode d'enregistrement (enregistrement périodique ou déclenché par certains événements, tels des dépassements de seuil).

Ces enregistreurs sont utilisés pour la maintenance, la recherche de pannes et l'analyse systématique des vols.

1.2 Chaînes d'acquisition de paramètres

1.2.1 Principe de fonctionnement du calculateur d'acquisition

Le calculateur d'acquisition centralise et met en forme les informations issues des différents capteurs, instruments et calculateurs de bord puis les transmet à l'enregistreur de paramètres par une liaison numérique dédiée (liaison série ARINC 573 ou 717). Il dispose de quatre types d'entrées :

- des entrées discrètes (détection d'état logique, voyants, interrupteurs, relais) ;
- des entrées analogiques (potentiomètre) ;
- des entrées pour synchro transmetteurs ;
- des entrées bus numérique (ARINC 429).

Le boîtier d'acquisition est programmé pour ordonner le flux continu de données vers l'enregistreur de paramètres. Il effectue le séquencement temporel des différents paramètres (position dans le flux de données) et leur codage numérique (conversion mathématique de la valeur physique du paramètre vers le format enregistré).

1.2.2 Documents de décodage

Les documents de décodage (appelés aussi grilles de décodage⁽¹⁾) de l'enregistreur de paramètres sont liés au système d'enregistrement. Ils réunissent :

- la méthode de programmation du système d'acquisition (position des paramètres, nombre de bits sur lequel chaque paramètre est codé, type et méthode de codage) ;
- les fonctions de conversion applicables aux valeurs numériques enregistrées pour restituer la valeur physique mesurée ou calculée du paramètre. Pour chaque paramètre, la fonction de conversion est vérifiée par un étalonnage de sa chaîne de mesure et d'acquisition, comme détaillé plus loin.

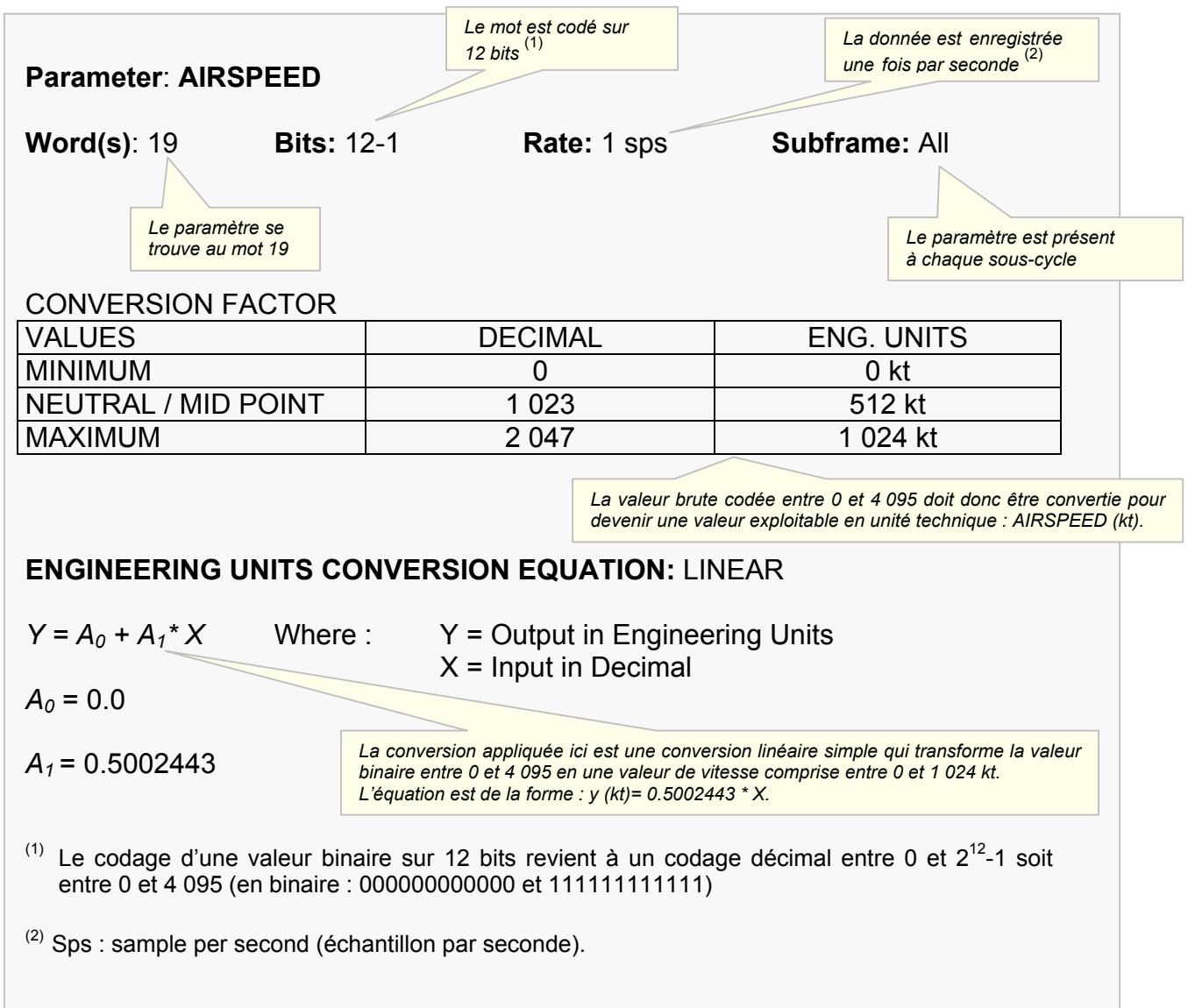
Ces documents sont complétés par les comptes-rendus de contrôle d'étalonnage des paramètres réglementaires.

⁽¹⁾ En anglais : Data Frame Layout (DFL).

1.2.3 Décodage d'un paramètre

Le fichier mis en forme par le système d'acquisition est un fichier binaire séquencé en cycles de quatre secondes. Chaque cycle est lui-même divisé en quatre sous-cycles d'une seconde chacun.

Chaque sous-cycle est divisé en fonction de la technologie de l'enregistreur en 64, 128, 256 ou 512 « mots » de douze bits chacun (le bit est l'unité de base binaire correspondant à un 0 ou un 1).



Extrait d'une grille de décodage pour le paramètre VITESSE AIR

1.3 Vérification du fonctionnement du système d'enregistrement

En maintenance, la vérification des paramètres enregistrés et le contrôle d'étalonnage des chaînes de mesure et d'acquisition des paramètres sont des tâches complémentaires qui permettent de vérifier la qualité de l'enregistrement.

1.3.1 Vérification des paramètres enregistrés

1.3.1.1 Objectif

La vérification des paramètres dans l'enregistrement du FDR permet d'évaluer le fonctionnement général du système d'enregistrement, ainsi que la qualité des documents de décodage. La vérification est également appelée inspection dans certains textes réglementaires.

1.3.1.2 Méthode

Pour être efficace, la vérification doit porter sur l'enregistrement du FDR à l'exclusion de tout autre support (QAR, DAR). L'ensemble des données enregistrées peut être copié pour analyse et être converti en unités techniques⁽²⁾ à l'aide d'un logiciel de décodage. Ce dernier doit être programmé conformément aux documents de décodage.

La vérification peut inclure les étapes suivantes :

- vérification que l'enregistrement de chaque paramètre réglementaire se fait bien à l'emplacement indiqué par la grille de décodage ;
- évaluation pour chaque paramètre réglementaire de la validité de sa fonction de conversion, en observant sa plage de valeur opérationnelle ;
- évaluation de la cohérence de l'évolution des paramètres dans plusieurs phases du vol ;
- vérification que l'enregistrement ne contient pas une zone longue ou cyclique de données illisibles ;
- vérification que la structure chronologique de l'enregistrement est correcte.

Des exemples de procédures sont proposés dans le document intitulé *Flight data recorder maintenance* publié par les autorités australiennes de l'aviation civile⁽³⁾.

1.3.2 Contrôle d'étalonnage des chaînes de mesure et d'acquisition

1.3.2.1 Objectif

Afin de garantir la qualité d'enregistrement des données, évaluée en comparant la valeur du paramètre en entrée du capteur et la valeur enregistrée, il est impératif de procéder pour chaque paramètre à l'étalonnage de sa chaîne de mesure et d'acquisition. Ceci pour diverses raisons.

⁽²⁾ Par unité technique (engineering unit), on entend l'unité dans laquelle on exprime la grandeur représentée par le paramètre (si par exemple ce paramètre est l'altitude-pression, son unité technique est le pied).

⁽³⁾ Civil Aviation Safety Authority Australia, October 2002, Flight data recorder maintenance CAAP 42L-4(0), annexe 1, pp 14-18.

D'une part, les lois de conversion théoriques fournies par le constructeur résultent des essais réalisés sur le prototype et par conséquent ne correspondent pas nécessairement à un avion précis.

D'autre part, il existe plusieurs causes possibles de dérèglement de la chaîne de mesure :

- le vieillissement du capteur dans un environnement favorisant les dégradations (eau, variations de température et de pression, etc.) peut amener une dérive par rapport à l'étalonnage initial ;
- la dérivation d'une source analogique (potentiomètre, synchro transmetteur) vers un utilisateur supplémentaire peut modifier les caractéristiques électriques du signal transmis, en termes d'amplitude et de déphasage ;
- le démontage/remontage d'éléments mécaniques peut dérégler le calage de référence de certains capteurs, lors notamment de grandes visites de maintenance ou d'un retrofit du système FDR.

Enfin, le capteur source pour le système d'enregistrement peut être différent des capteurs alimentant les instruments de bord et les autres systèmes avion, si bien qu'une valeur enregistrée peut présenter des différences avec la valeur utilisée par le système de l'avion. Il en est de même pour les paramètres discrets qui signalent des problèmes inhabituels, leur vérification dans un cadre normal n'est jamais effectuée.

Remarque : ces problèmes concernent principalement les avions d'ancienne génération. Dans le cas des avions les plus récents, les paramètres sont généralement numérisés et utilisés par plusieurs systèmes, dont l'unité d'acquisition de l'enregistreur, ce qui facilite la détection d'anomalies.

Lorsqu'un écart supérieur aux tolérances est relevé entre les valeurs nominales d'entrée et les valeurs enregistrées, deux actions sont possibles suivant la nature du problème :

- remplacement ou réparation de l'élément défaillant ;
- modification de la fonction de conversion dans le document de décodage.

Les paramètres discrets qui signalent une situation inhabituelle (GPWS Warning, Stick Shaker, Mach Warning, Engine Fire, etc.) ne sont pas actifs lors d'un vol normal et n'apparaissent pas sur l'enregistrement du FDR. L'inspection de l'enregistrement n'est donc pas suffisante, il faut tester spécifiquement le bon enregistrement de ces paramètres discrets. La procédure décrite ci-dessous semble la mieux adaptée dans ce cas.

1.3.2.2 Procédure de contrôle d'étalonnage

L'étalonnage des chaînes de mesure et d'acquisition de paramètres consiste à générer des valeurs de référence en entrée des capteurs et à relever les valeurs des paramètres correspondants en sortie du boîtier d'acquisition (ou directement sur l'enregistreur si celui-ci effectue lui-même l'acquisition des paramètres).

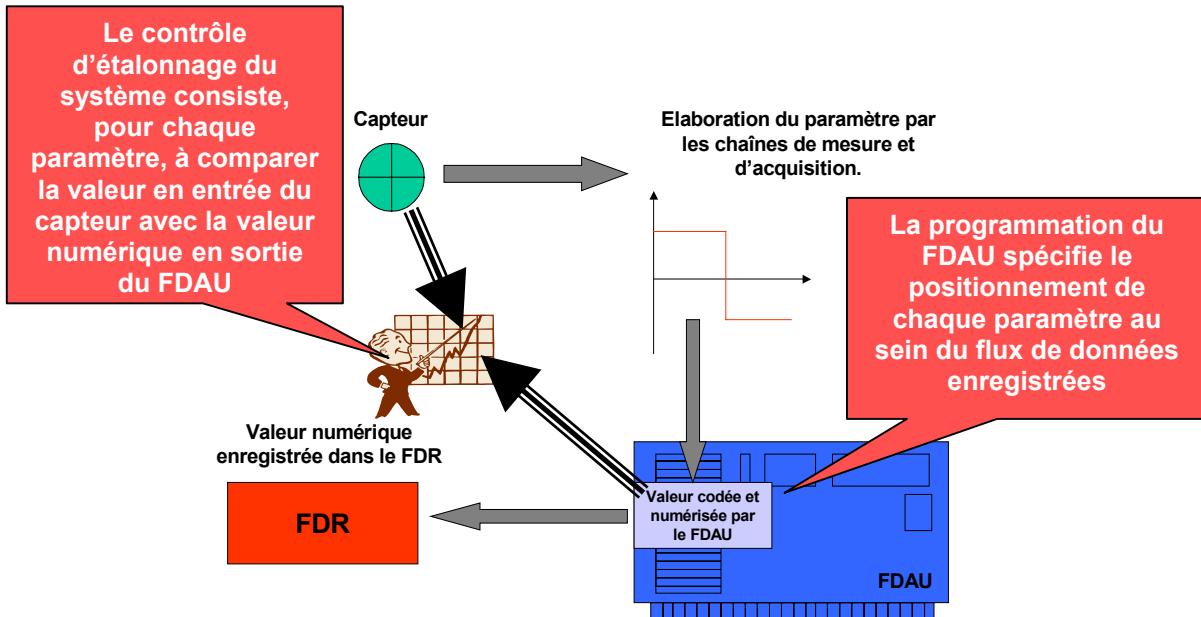


Schéma du principe du contrôle d'étalonnage d'une chaîne de mesure

1.3.2.2.1 Génération des valeurs de référence

La génération des valeurs de référence peut s'effectuer par l'une des méthodes suivantes :

- l'activation du capteur. On peut distinguer :
 - la « stimulation » d'un capteur qui consiste à lui appliquer des entrées physiques (exemple : application d'une pression calibrée sur la prise statique) ;
 - la « simulation » du capteur qui consiste à reproduire les signaux électriques en sortie du capteur. Cette méthode est utilisée lorsque la stimulation est trop complexe à mettre en œuvre (exemple : température moteur, alarme).
- l'utilisation de la fonction d'auto test qui existe sur certains systèmes comme les centrales à inertie (IRS). Cette fonction commande en interne l'alignement sur des valeurs de référence ;
- lorsqu'il n'existe pas de test interne ou d'instrument étalon et que le capteur alimentant la chaîne d'enregistrement alimente également les indicateurs dans le poste de pilotage, l'utilisation des valeurs disponibles sur les instruments.

1.3.2.2.2 Contrôle de la valeur en sortie

Pour contrôler les valeurs de chaîne d'acquisition, il suffit de connecter au boîtier un système de lecture compatible qui calcule en temps réel les valeurs des paramètres converties suivant la grille de décodage.

1.3.2.2.3 Exemple

Contrôle d'étalonnage pour le paramètre « position gouverne de gauchissement ».

Position réelle calibrée avec un clinomètre (degrés)	Valeur brute en sortie du système d'acquisition	Valeur convertie suivant la grille de décodage standard (degrés)	Erreurs de la chaîne d'acquisition (degrés)
+ 25,5 (butée droite)	2 880	+ 25,2	- 0,3
+ 15	2 545	+ 15,1	+ 0,1
0	2 065	0,5	+ 0,5
- 15	1 603	- 13,4	+ 1,6
- 25 (butée gauche)	1 246	- 24,3	+ 0,7
Erreur maximale acceptée : + / - 2° Source : annexe 1 à l'AMC OPS 1.720 1.725, Tableau A			Résultat : précision satisfaisante

L'étalonnage de l'ensemble des chaînes de mesure n'est pour l'instant effectué que par le constructeur avant la livraison de l'avion.

2 - ASPECTS REGLEMENTAIRES ET OPERATIONNELS

2.1 Introduction à la réglementation

2.1.1 Généralités

Les informations réglementaires portant sur les enregistreurs de paramètres et sur leurs documents de décodage sont dispersées dans différents textes. Au niveau de l'OACI, elles figurent principalement dans les Annexes 6 (huitième édition, juillet 2001) et 13 et pour les avions au niveau européen dans le JAR OPS 1, transposé dans l'arrêté du 12 mai 1997 (OPS 1).

L'EUROCAE produit également des documents relatifs aux enregistreurs auxquels différents textes réglementaires font référence. Des extraits des documents EUROCAE 55 (ED 55) et 112 (ED 112) sont présentés en annexe.

2.1.2 Annexe 6, première partie

L'Annexe 6 à la Convention relative à l'aviation civile internationale porte sur l'exploitation technique des aéronefs. Ce document comprend trois parties. La première est consacrée aux avions effectuant du transport commercial international ; les dispositions relatives aux enregistreurs de bord figurent dans son supplément D.

2.1.2.1 Règle d'emport d'un enregistreur de paramètres

Les sous-chapitres 6.3.3 et 6.3.4 de l'Annexe 6, première partie, précisent que tout avion de masse maximale certifiée supérieure à 5 700 kg doit être équipé d'un enregistreur de paramètres, quelle que soit la date de délivrance du certificat individuel de navigabilité.

Le sous-chapitre 6.3.6 ajoute que la liste des paramètres à enregistrer⁽⁴⁾ pour les avions de masse maximale certifiée au décollage supérieure à 27 000 kg s'applique également aux avions de masse maximale certifiée au décollage supérieure à 5 700 kg dont le certificat individuel de navigabilité a été délivré après le 1^{er} janvier 2005.

La France a indiqué que la liste des paramètres exigés par l'Annexe 6 n'a pas été incorporée dans la réglementation nationale, et que par conséquent la norme du sous-chapitre 6.3.6 n'a pas encore été prise en compte.

⁽⁴⁾ Cette liste est donnée dans le sous-chapitre 6.3.1.8.

2.1.2.2 Installation des systèmes d'enregistreurs de bord

Les règles à suivre lors de l'installation des enregistreurs de bord sont précisées dans le sous-chapitre 1.3 du supplément D. En particulier :

- le respect des exigences d'enregistrement portant sur les paramètres doit être vérifié au moyen de méthodes approuvées par l'autorité de certification. Les spécifications concernant les paramètres obligatoires sont regroupées dans un tableau reproduit ci-après en annexe ;
- le constructeur de l'avion doit fournir à l'autorité les renseignements suivants :
 - mode d'emploi et procédures d'installation,
 - origine des paramètres et conversions à appliquer pour restituer les paramètres en unités techniques,
 - comptes-rendus d'essais.

L'exploitant doit archiver tout document concernant les enregistreurs de paramètres en vue de leur éventuel dépouillement⁽⁵⁾ :

« L'exploitant devrait tenir une documentation relative à l'attribution des paramètres, aux équations de conversion, à l'étalonnage périodique et à l'état de fonctionnement / l'entretien (...). La documentation doit être suffisante pour garantir que les autorités (...) disposeront des renseignements nécessaires pour la lecture des données sous forme d'unités techniques. »

2.1.2.3 Programme d'analyse des paramètres enregistrés

Le sous-chapitre 3.2.3 précise qu'à compter du 1^{er} janvier 2005 les exploitants d'avion dont la masse maximale certifiée au décollage excède 27 000 kg doivent établir un « programme d'analyse des données de vol » dans le cadre de leur programme de sécurité des vols. Une note ajoute que l'exploitant peut sous-traiter ce programme tout en conservant la responsabilité générale de [sa] tenue.

Une note du sous-chapitre 3.2.4 indique que le manuel de prévention des accidents (Doc 9422) contient des indications sur les programmes d'analyse des données de vol.

La France a précisé qu'un tel programme d'analyse est exigé par la réglementation nationale lorsque la masse maximale certifiée au décollage excède 10 000 kg ou que la configuration maximale approuvée en sièges passagers est supérieure à vingt.

⁽⁵⁾ Ces informations sont généralement regroupées dans un ensemble de documents appelés dans cette étude « documents de décodage » ou « grille de décodage » (voir chapitre 1.2.2).

2.1.2.4 Vérification périodique des paramètres enregistrés

Le sous-chapitre 3.2 du supplément D de l'Annexe 6, première partie, recommande une lecture annuelle de l'enregistrement du FDR par l'exploitant en respectant les points suivants :

- il convient de vérifier d'abord que les « *enregistreurs ont bien fonctionné pour la durée nominale de l'enregistrement* » ;
- « *L'analyse devrait comporter une évaluation de la qualité des données enregistrées (...) [et] déterminer la nature et la répartition des erreurs* » ;
- « *Les données d'un vol complet (...) devraient être examinées sous forme d'unités techniques dans le but d'évaluer la validité de tous les paramètres* ». Ainsi, ce sont les paramètres reconstitués après traitement des données brutes qui doivent être examinés ;
- il convient d'accorder « *une attention particulière aux paramètres mesurés par des capteurs reliés en exclusivité à l'enregistreur* » car une défaillance de ces capteurs ne peut être détectée par un autre système embarqué ;
- la conversion des paramètres en unités techniques doit être effectuée aux moyens de logiciels adaptés. En effet, l'utilisation de logiciels est indispensable pour traiter dans un temps raisonnable tous les paramètres obligatoires sur la plage de temps représentant un vol ;
- un rapport d'inspection « *devrait être mis à la disposition de l'autorité nationale chargée de la réglementation, pour contrôle, lorsqu'elle en fait la demande* ».

2.1.2.5 Critère de fonctionnement correct du système d'enregistrement

Le sous-chapitre 3.3 du supplément D propose une définition du mauvais fonctionnement du système d'enregistreurs de bord : « *s'il y a une période significative de données de mauvaise qualité (...) ou si un ou plusieurs paramètres obligatoires ne sont pas enregistrés correctement* ».

Ainsi, une action corrective doit être effectuée sur le système d'enregistrement dès qu'un paramètre obligatoire n'est pas enregistré avec les exigences de qualité spécifiées.

2.1.2.6 Contrôle d'étalement des chaînes d'acquisition

Le sous-chapitre 3.5 du supplément D indique des périodicités pour le ré-étalement du système d'enregistrement et de ses chaînes d'acquisition :

- « *Le système d'enregistrement de données de vol devrait être ré-étalement tous les cinq ans au moins (...) pour les paramètres obligatoires.* » ;
- « *Lorsque les paramètres d'altitude et de vitesse sont fournis par des capteurs servant uniquement au système d'enregistrement (...), un ré-étalement devrait être effectué (...) à intervalles n'excédant pas deux ans.* ».

2.1.3 JAR OPS 1 et OPS 1

2.1.3.1 Règles d'emport des enregistreurs et nature des données à enregistrer

Les paragraphes 1.715, 1.720 et 1.725 du JAR OPS, dont l'application dépend de la date du certificat de navigabilité individuel de l'avion⁽⁶⁾, sont relatifs aux enregistreurs de paramètres et précisent les conditions d'emport de ces enregistreurs, la durée d'enregistrement et les paramètres à enregistrer. Pour ces paragraphes, l'arrêté du 12 mai 1997 reprend strictement le contenu du JAR.

Il est précisé que l'emport d'un enregistreur de paramètres est obligatoire pour tout avion de masse maximale certifiée au décollage supérieure à 5 700 kg. Cette exigence est étendue aux appareils multiturbines de configuration maximale approuvée en sièges passagers supérieure à neuf, lorsque leur certificat individuel de navigabilité a été délivré après le 1^{er} avril 1998.

Les paramètres à enregistrer sont indiqués (cette liste se trouve en annexe à la présente étude) et il est précisé qu'une méthode d'extraction des données du support mémoire doit être disponible. Cependant, en fonction de la masse maximale certifiée au décollage et de la date de délivrance du certificat individuel de navigabilité, l'enregistrement de certains paramètres n'est pas requis.

Les exploitants doivent suivre, dans la mesure du possible, les spécifications opérationnelles d'échantillonnage, de précision et de résolution définies dans l'ED 55⁽⁷⁾ (un extrait de ces spécifications est donné en annexe à la présente étude). D'autre part, pour les avions relevant des paragraphes 1.725 ou 1.720, un enregistreur de paramètres doit être considéré comme hors service lorsque « *les analyses des données enregistrées (...) ont démontré que plus de 5 % des paramètres [obligatoires] (...) ne sont pas correctement enregistrés* ». Le règlement européen s'avère ainsi moins exigeant que le sous-chapitre 3.3 du supplément D de l'Annexe 6.

⁽⁶⁾ Dates d'application :

- OPS 1.715 : avion dont le CDN individuel a été émis après le 1^{er} avril 1998,
- OPS 1.720 : avion dont le CDN individuel a été émis entre le 1^{er} juin 1990 et le 31 mars 1998,
- OPS 1.725 : avion dont le CDN individuel a été émis avant le 1^{er} juin 1990.

⁽⁷⁾ Il est précisé dans l'ED112 que les spécifications opérationnelles de ce document remplacent celles de l'ED55. Cependant ces nouvelles spécifications n'ont pas encore été prises en compte par les JAA.

2.1.3.2 Exploitation avec un enregistreur réglementaire hors service

Il est précisé, dans les paragraphes 1.715, 1.720 et 1.725 du JAR OPS 1 et de l'arrêté du 12 mai 1997, qu'un vol peut être entrepris avec un enregistreur de paramètres hors service si les conditions suivantes sont remplies :

- une réparation ou un remplacement ne peuvent pas être « raisonnablement » effectués avant le début du vol ;
- moins de huit vols et moins de soixante-douze heures de vol sont à compter depuis le constat de la panne ;
- l'enregistreur de conversation fonctionne⁽⁸⁾.

2.1.3.3 Programme de sécurité des vols

Le titre des paragraphes 1.037 du JAR OPS 1 et de l'arrêté du 12 mai 1997 est identique : « *Programme de prévention des accidents et de sécurité des vols* » mais leur contenu est différent.

Le paragraphe 1.037 de l'arrêté prévoit que « *un exploitant doit adopter un programme de prévention des accidents et de sécurité des vols comprenant notamment un système d'analyse des vols basé sur l'exploitation des rapports relatifs à la sécurité des vols ou des enregistrements de paramètres de vol.* » Cette exigence découle des recommandations consécutives à l'accident survenu le 20 janvier 1992 près du Mont Sainte-Odile⁽⁹⁾.

Dans le cas d'avions à turbines de masse maximale certifiée au décollage supérieure à 10 000 kg ou de configuration maximale approuvée en sièges passagers de vingt ou plus, à compter du 1^{er} janvier 2000, le système doit exploiter à la fois les rapports relatifs à la sécurité des vols et les enregistrements de paramètres de vol.

Le paragraphe 1.037 européen, quant à lui, n'évoque pas l'exploitation des paramètres de vols enregistrés.

Remarque : il en va de même aux Etats-Unis où l'analyse systématique des vols n'est pas obligatoire, bien que la FAA encourage le développement de cette activité au travers du FOQA (Fight Operational Quality Assurance).

⁽⁸⁾ Dans le cas où les fonctions d'enregistrement FDR et CVR sont combinées dans un même équipement, la Temporary Guidance Leaflet n° 26 produite par les JAA recommande que l'une au moins de ces fonctions soit opérationnelle.

⁽⁹⁾ Dans le rapport sur l'accident survenu le 20 janvier 1992 à l'Airbus A320 F-GGED près du Mont Sainte-Odile (Bas-Rhin), il est recommandé « *qu'au plan national et international les autorités de l'aviation civile prennent, vis-à-vis des exploitants de transport aérien public relevant de leur autorité, des dispositions visant à :*

- étendre la pratique d'une analyse systématique par l'exploitant des paramètres de vol enregistrés ;
- sistématiser une analyse approfondie, notamment au plan opérationnel, par un service spécialisé de l'exploitant, des anomalies importantes ainsi détectées ;
- organiser sous des formes appropriées, en respectant notamment les contraintes de confidentialité des informations et d'anonymat, la communication des résultats de ces analyses aux autorités de tutelle, au constructeur et aux autres exploitants. ».

2.1.3.4 Documentation de décodage des enregistreurs

Les paragraphes 1.160 du JAR OPS 1 et de l'arrêté du 12 mai 1997 sont identiques et traitent de la « *conservation, de la remise et de l'usage des enregistrements des enregistreurs de vol* ». Dans leur partie (a)-(4)-(ii), il est spécifié qu'un document donnant les informations nécessaires à l'extraction et à la conversion des données enregistrées en unités techniques doit être gardé par l'exploitant.

2.1.4 Autres textes français

2.1.4.1 Fascicule P-44-41

Le fascicule P-44-41 publié par le GSAC (Groupement pour la Sécurité de l'Aviation Civile) est un recueil des documents réglementaires concernant l'entretien de l'enregistreur phonique et de l'enregistreur de paramètres. Il reprend la lettre 98159 SFACT-E du 13 février 1998 qui définit les périodicités de vérification des paramètres à respecter en fonction de :

- la technologie de l'enregistreur : la présence d'une bande et de pièces mécaniques tournantes provoque un vieillissement mécanique des enregistreurs à bande. Ceci impose des inspections plus fréquentes que pour les enregistreurs à mémoire statique de nouvelle génération.
- l'existence d'un programme d'analyse des vols qui prend en compte la totalité des paramètres requis : un tel programme permet d'espacer les contrôles, à condition que « *la source de prélèvement des paramètres pour l'analyse soit identique à celle utilisée pour le DFDR* ».

Remarque : un tableau résumant ces exigences figure en annexe.

2.1.4.2 Lettre du SFACT du 4 août 1989

Dans sa lettre du 4 août 1989 dont l'objet concerne le décodage des enregistreurs de paramètres, le SFACT demande aux services et directions régionales de l'Aviation Civile que toute *inscription d'un aéronef en liste de flotte soit subordonnée au dépôt par la compagnie exploitante* :

- du type d'enregistreurs utilisés,
 - de la grille de décodage et des étalonnages de l'enregistreur de paramètres.
- Il est précisé dans la lettre que l'enregistreur ne se conçoit pas sans les moyens de dépouillement.

2.1.4.3 Code de l'Aviation Civile - Livre VII

L'article R.711-2 du Code de l'Aviation Civile issu du décret n° 2001-1043 du 8 novembre 2001 précise que le Directeur du BEA propose au ministre « *la réglementation relative à la préservation des éléments de l'enquête technique ainsi qu'à l'utilisation générale des enregistreurs de bord* ». Ainsi le décret associe le BEA au pouvoir réglementaire régissant l'installation et l'utilisation des enregistreurs de bord.

2.1.5 Informations sur la réglementation américaine

Aux Etats-Unis, dans le règlement FAR 125 relatif à la certification et à l'exploitation des aéronefs ayant une masse maximale au décollage supérieure à six mille livres ou autorisés à transporter vingt passagers et plus, le paragraphe 125.226 concerne les enregistreurs de paramètres. Il est demandé à l'exploitant d'établir une méthode permettant d'effectuer la conversion des paramètres enregistrés et de conserver un document concernant cette conversion (grille de décodage). Néanmoins, l'exploitant est autorisé à posséder un document unique de décodage pour un groupe d'avions du même type, pour lesquels le système d'enregistrement et l'installation du système sont identiques.

En outre, le bulletin HBAW 97-13B de la FAA du 15 décembre 1997 donne des consignes aux *Principal Avionics Inspectors* (inspecteurs chargés du contrôle sur avion). Il leur est demandé de vérifier que chaque exploitant met à jour le document de décodage après un retrofit du système d'enregistrement. Ces inspecteurs sont également chargés de vérifier sur les enregistrements de chaque avion que les paramètres obligatoires sont enregistrés correctement « *PAI action should include air carrier operator readout of each airplane's DFDR to determine that all required parameters are being recorded, and to verify that each parameter is working properly* ».

Il existe aussi une circulaire (FAA AC 20-141) relative à la navigabilité et à l'approbation opérationnelle des systèmes d'enregistreurs de paramètres qui explique la réglementation, notamment pour ce qui concerne les opérations de maintenance de ces enregistreurs.

2.2 Comparatif des exigences réglementaires

2.2.1 Programme d'analyse des paramètres enregistrés

Document	Exigences ou recommandations importantes
Fascicule P 44-41 GSAC	(pas de précision)
OPS 1 ⁽¹⁰⁾	Pour tout avion à turbine de masse maximale certifiée au décollage supérieure à 10 000 kg ou de configuration approuvée en sièges passagers de vingt ou plus, une analyse des paramètres de vol enregistrés est requise.
OACI Annexe 6, partie 1	Pour tout avion de masse maximale certifiée au décollage supérieure à 27 000 kg, un programme d'analyse des données de vol est requis.
ED 55	(pas de précision)
ED 112	(pas de précision)

Aucun de ces textes ne précise la documentation à produire ou à archiver.

2.2.2 Inspection de l'enregistrement des paramètres

Document	Périodicité obligatoire ou recommandée	Exigences ou recommandations importantes	Documentation à produire ou à archiver
Fascicule P-44-41 GSAC	SSFDR : 4 000 heures ou 2 ans (8 000 heures ou 4 ans si analyse des vols permettant de vérifier tous les paramètres FDR) DFDR : 2 000 heures ou 12 mois (4 000 heures ou 2 ans si analyse des vols permettant de vérifier tous les paramètres FDR)	Lecture d'une phase de vol significative dans laquelle tous les paramètres évoluent. La source de prélèvement des paramètres pour l'analyse des vols doit être identique à celle utilisée pour le FDR.	(Pas de précision)
OPS 1	(Pas de précision)	Dans le cas du 1.720 et du 1.725 l'enregistreur est considéré hors service lorsque 5 % des paramètres obligatoires ne sont pas correctement enregistrés.	(Pas de précision)
OACI Annexe 6, partie 1	Annuelle	Lecture d'un vol complet et examen des paramètres exprimés en unités techniques (conversions en unités techniques effectuées automatiquement par logiciel). L'enregistreur est considéré hors service dès qu'un paramètre obligatoire n'est pas correctement enregistré. Attention particulière pour les paramètres mesurés par des capteurs reliés exclusivement à l'enregistreur.	Mettre un rapport d'inspection à la disposition de l'autorité de réglementation
ED 55	2 000 heures ou 12 mois	Lecture des 15 dernières minutes enregistrées en vol	(Pas de précision)

⁽¹⁰⁾ Le JAR OPS 1 n'impose pas de mettre en place un programme d'analyse des données de vol enregistrées, contrairement à l'arrêté du 12 mai 1997. Ainsi la réglementation européenne est insuffisante au regard des exigences de l'OACI.

ED 112	3 000 heures ou 12 mois	<p>Lecture d'un vol complet et examen des paramètres exprimés en unités techniques. La qualité de certains paramètres doit être vérifiée à différentes phases du vol.</p> <p>L'enregistreur est considéré hors service lorsqu'il y a une période significative de signaux inintelligibles ou lorsqu'un paramètre obligatoire n'est pas correctement enregistré.</p> <p>Attention particulière pour les paramètres qui ne sont surveillés par aucun système embarqué.</p>	Archiver la copie d'enregistrement la plus récente
--------	-------------------------	--	--

L'Annexe 6 et l'ED 112 comportent deux exigences supplémentaires :

- l'analyse doit porter sur un vol complet et non sur une phase ou un intervalle de temps fixé. En effet certains paramètres doivent être scrutés à différentes phases de vol pour évaluer leur cohérence ;
- pour être pertinente, l'analyse doit porter sur des paramètres décodés, c'est-à-dire reconstitués après application des fonctions de conversion adaptées aux données brutes (c'est ce qu'il faut comprendre par « en unités techniques »).

Par ailleurs, l'Annexe 6 et l'ED 112 recommandent une attention spéciale pour les paramètres dont les sources n'alimentent pas d'autres systèmes de l'avion qui donneraient une indication sur la qualité des mesures. En effet, seule l'inspection de l'enregistrement peut permettre de détecter un mauvais fonctionnement des chaînes de mesure associées à ces paramètres.

Il est à noter que la huitième édition de l'Annexe 6 est plus exigeante que la réglementation nationale ou européenne en demandant une inspection annuelle.

2.2.3 Contrôle d'étalonnage des chaînes de mesure et d'acquisition de l'enregistreur

Document	Périodicité obligatoire ou recommandée	Exigences ou recommandations importantes	Documentation à produire ou à archiver
Fascicule P-44-41 GSAC	(Pas de précision)	(Pas de précision)	(Pas de précision)
OPS 1	(Pas de précision)	(Pas de précision)	(Pas de précision)
OACI Annexe 6 partie 1	Tous les 5 ans (tous les 2 ans pour les paramètres d'altitude et de vitesse lorsqu'ils sont mesurés par des capteurs ne servant qu'au système d'enregistrement).	Tous les paramètres obligatoires.	Tenir une documentation relative à l'étalonnage périodique.
ED 55	(Déterminée par l'installateur)	Tous les paramètres obligatoires. Nécessité d'un équipement adapté pour simuler les grandeurs mesurées au niveau des capteurs.	Pour chaque paramètre testé, remplir une table présentant pour chaque point de mesure le résultat

			mesuré à l'entrée de l'enregistreur en regard de la plage de valeurs acceptables. Documents à archiver et à tenir à la disposition des autorités d'enquête.
ED 112	(Déterminée par l'installateur)	La vérification porte sur la chaîne d'acquisition et de mesure complète (du capteur à l'enregistreur).	Documents issus de la vérification à archiver et à tenir à la disposition des autorités d'enquête.

Le contrôle d'étalonnage des chaînes d'acquisition est absent de la réglementation française. Pourtant la huitième édition de l'Annexe 6 contient des recommandations sur cette tâche.

Il faut noter que la procédure de l'étalonnage n'est pas décrite en détail dans l'Annexe 6, aussi doit-on consulter l'ED 112 pour trouver des moyens de conformité.

L'Annexe 6 propose une périodicité minimale de cinq ans pour cette tâche tandis que l'ED 112 n'en fixe pas.

Il serait utile de l'effectuer systématiquement dès le début de l'exploitation d'un nouvel avion (sauf lorsqu'il vient d'être livré par le constructeur) et après chaque grande visite de maintenance, certaines tâches étant susceptibles d'engendrer un déréglage de chaînes d'acquisition.

Il faut également noter que les documents de l'OACI et de l'EUROCAE recommandent un archivage des comptes-rendus de vérification d'étalonnage. Le contenu utile d'un compte-rendu est l'ensemble des tableaux indiquant pour chaque paramètre les valeurs calculées par l'unité d'acquisition en regard des valeurs simulées au niveau des capteurs. En effet, ces documents permettent de reconstituer la valeur réelle des paramètres enregistrés sur un avion donné avec plus de certitude que les conversions génériques fournies par la grille de décodage.

2.2.4 Documentation dont l'exploitant est responsable

Document	Documentation à produire ou à archiver par l'exploitant
Fascicule P-44-41 GSAC	(Pas de précision) (Le GSAC approuve le manuel d'entretien de la compagnie)
OPS 1	Archiver le document permettant « <i>l'extraction et la conversion des données en unités techniques</i> ».
OACI Annexe 6 partie 1	« (...) tenir une documentation relative à l'attribution des paramètres, aux équations de conversion, à l'étalonnage périodique (...). La documentation doit être suffisante pour garantir que les autorités (...) disposeront des renseignements nécessaires pour la lecture des données sous forme

	<i>d'unités techniques.»</i> Mettre à la disposition de l'autorité nationale de réglementation, lorsqu'elle en fait la demande, un rapport de vérification de l'enregistrement.
ED 55	A chaque vérification d'étalonnage des chaînes de mesure de l'enregistreur, remplir pour chaque paramètre testé une table présentant pour chaque point de mesure le résultat mesuré à l'entrée de l'enregistreur en regard de la plage de valeurs acceptables. Documents à archiver et à mettre le cas échéant à la disposition des autorités d'enquête.
ED 112	Au cours des essais d'installation, l'installateur et l'exploitant remplissent un rapport contenant les comptes-rendus d'étalonnage et toute information nécessaire au décodage des paramètres et aux conversions en unités techniques. Documents à archiver par l'exploitant. Après chaque vérification de l'enregistrement, archiver la copie (ne garder que la plus récente). A chaque contrôle d'étalonnage des chaînes de mesure de l'enregistreur, archiver les résultats et mettre le cas échéant à la disposition des autorités d'enquête.

La réglementation nationale impose l'archivage des documents de décodage par l'exploitant. Cependant, comme on l'a vu ci-avant, les documents de décodage originaux, produits par l'installateur, contiennent des informations génériques qui devraient être mises à jour en exploitation.

C'est pourquoi la huitième édition de l'Annexe 6 et l'ED 112 recommandent en plus que l'exploitant documente et archive :

- la vérification périodique des paramètres enregistrés par le FDR,
- le contrôle périodique de l'étalonnage des chaînes d'acquisition de l'enregistreur.

Des précisions sur ces tâches sont données dans l'ED 112.

2.3 Problèmes rencontrés lors de l'exploitation des enregistreurs

Pour simplifier, les problèmes rencontrés par le BEA et d'autres organismes d'enquête ont été classés en trois catégories ci-après. Un événement peut néanmoins concerner plusieurs catégories à la fois. La liste des exemples décrits est représentative des types de problèmes généralement rencontrés, sans prétendre être exhaustive.

2.3.1 Données absentes ou incomplètes

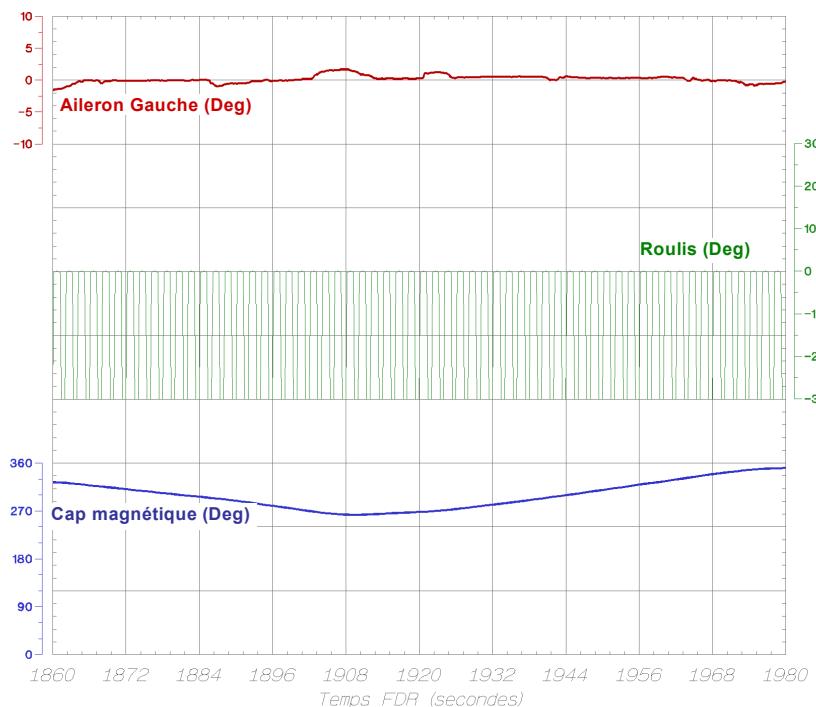
Avoir un enregistreur et un enregistrement physique sont les conditions sine qua non pour une exploitation des données enregistrées. L'absence de données est beaucoup plus pénalisante que l'indisponibilité du document de décodage.

2.3.1.1 Evénement survenu à l'étranger en 2002 et traité par le BEA

Les paramètres suivants n'étaient pas valides : accélérations longitudinale et latérale, position des commandes de gouverne de profondeur, des ailerons et du trim et position de la gouverne de direction. En outre, l'enregistrement du FDR présentait un problème de chronologie qui se traduisait par une superposition de vols récents et de vols plus anciens. Une entreprise sous-traitante avait vérifié l'enregistrement du FDR pour le compte de l'exploitant deux jours avant l'événement mais les paramètres trouvés invalides au cours de l'enquête n'avaient pas été vérifiés. De plus, la durée sur laquelle avait été effectuée la vérification (une heure de données de vol environ) ne permettait pas de détecter le problème de chronologie.

2.3.1.2 Evénement survenu à l'étranger en 2001 à un avion de construction française

Le paramètre roulis était incorrectement enregistré, comme l'illustre la courbe suivante. Ce paramètre étant essentiel pour l'analyse de cet événement, il avait été impossible de conclure.



2.3.1.3 Evénement survenu à l'étranger en 2001 à un avion de construction française

Le système d'enregistrement FDR avait été modifié par l'exploitant qui n'avait pas été en mesure de fournir un document valide. Un certain nombre de paramètres mentionnés dans le document n'étaient pas enregistrés ou leur codage était erroné. La validation de paramètres fondamentaux pour la compréhension de l'événement, effectuée sur des appareils de la flotte ayant subi les mêmes modifications et sur banc d'essai, a pris plusieurs mois.

2.3.1.4 *Evénement survenu à l'étranger en 2000 à un avion de construction française*

Des données correspondant à une succession de séries de 0 et de 1 étaient enregistrées mais aucune ne correspondait à des paramètres de vol. Les essais effectués sur le FDR ont montré que sa panne devait activer un signal lumineux en poste. Il est également possible que ce signal indiquant la panne ait été défectueux mais, dans ce cas, le défaut de signal aurait dû être détecté lors des vérifications pré-vol. Cette panne existait depuis au moins les vingt-cinq dernières heures de vol. Le FDR n'a pas pu servir pour déterminer les causes de l'événement.

2.3.2 Documents de décodage incomplets ou indisponibles

2.3.2.1 *Evénement survenu en France en 2000 à un avion exploité par une compagnie aérienne étrangère*

L'exploitant n'a jamais pu fournir au BEA le document de décodage complet. Les informations concernant les paramètres enregistrés et leur localisation dans la trame ont été obtenues, mais pas les fonctions de conversion et les comptes-rendus d'étalonnage. Les données FDR n'ont pas pu être exploitées.

2.3.2.2 *Evénement survenu en France en 1999 à un avion exploité par une compagnie aérienne étrangère et affréter par une compagnie aérienne française*

L'exploitant n'a pas été en mesure de produire les documents de décodage. Une grille a été fournie par le constructeur à partir du numéro de série de l'avion, mais le document correspondait à la configuration d'origine de l'avion et n'intégrait pas d'éventuelles modifications effectuées après la livraison. L'enregistrement a finalement pu être exploité dans le cadre de l'analyse de l'événement proprement dit, mais l'information fournie aurait pu s'avérer insuffisante dans le cas d'un accident plus complexe.

2.3.2.3 *Evénement survenu en France en 2000 à un avion exploité par une compagnie aérienne étrangère*

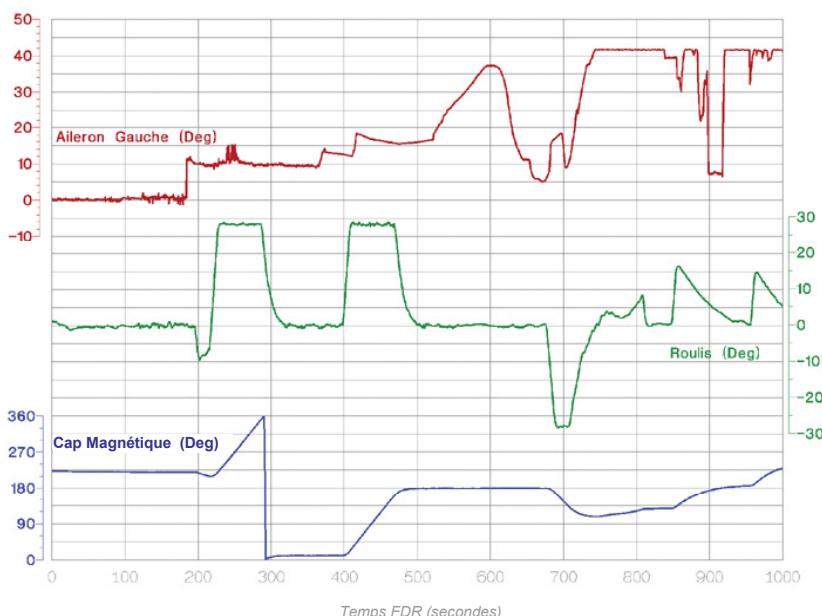
L'exploitant n'a pas pu fournir au BEA les informations demandées et l'a dirigé vers une autre compagnie aérienne chargée de la maintenance de ses avions. Les documents fournis par celle-ci comportaient des erreurs, en particulier sur les conventions de signe. L'exploitation de l'enregistreur a ainsi été retardée en raison de la qualité de la documentation fournie et des interlocuteurs multiples, qui plus est peu concernés par le problème.

2.3.2.4 Evénement survenu en France en 2000 à un avion de construction française exploité par une compagnie aérienne française

Les documents fournis à la suite de cet accident par l'exploitant et le constructeur comportaient des incohérences concernant notamment un nombre de bits différent pour certains paramètres. Il est aussi apparu que deux paramètres étaient enregistrés sans figurer dans la documentation. Ces problèmes ont nécessité l'étude approfondie de l'enregistrement de plusieurs paramètres, retardant significativement la validation des données enregistrées.

2.3.2.5 Evénement survenu à l'étranger en 2001 et traité par le BEA

La documentation fournie par l'exploitant à la suite de l'accident comportait des erreurs. La courbe suivante, où l'on a tracé l'évolution de la position des ailerons, du roulis et du cap pendant une phase de vol sans incident, montre que le paramètre relatif à la position de l'aileron gauche est incorrect. Il n'a pas été possible de déterminer si un autre paramètre était enregistré à cet emplacement ou si cela provenait d'un problème sur l'enregistrement de la position de cet aileron.



2.3.2.6 Evénement survenu à l'étranger en 2001 à un avion exploité par une compagnie aérienne française

La documentation n'a pas pu être fournie initialement par l'exploitant, la seule personne ayant accès à cette documentation étant en congé. La DAC a fourni au BEA un document, déposé par l'exploitant lors de l'inscription de l'avion dans sa liste de flotte, qui ne contenait pas les indications de conversion des paramètres. Environ dix jours après la réception des enregistreurs, la personne concernée, de retour de congé, a transmis au BEA le même document que la DAC. Elle a indiqué que l'analyse de leurs vols était effectuée par une société externe qui était en mesure de fournir les informations manquantes. Cette société a répondu que, la

compagnie aérienne n'ayant jamais pu fournir une documentation complète, elle utilisait une grille standard pour des avions de même type, ce qui permettait d'avoir « *une majorité de paramètres qui fonctionnaient à peu près* ».

Dans ce cas, la réglementation était respectée dans sa lettre. Toutefois, en l'absence d'une véritable utilisation de l'analyse des vols et d'une réelle implication des différents acteurs concernés, le problème de documentation n'avait jamais été mis en évidence.

2.3.2.7 *Evénement survenu en France en 1999 à un avion exploité par une compagnie aérienne française*

La documentation indiquait que le paramètre « terrain warning » était enregistré. Il est apparu que ce paramètre correspondait à toute alarme GPWS (à l'exception de « glideslope warning ») et pas uniquement à l'alarme « terrain ».

2.3.2.8 *Evénement survenu en France en 1999 à un avion exploité par une compagnie aérienne française*

L'exploitant possédait un document qui ne contenait pas les informations relatives aux fonctions de conversion des paramètres enregistrés. Le constructeur a été contacté, sans succès. Finalement, c'est auprès de la société ayant effectué l'installation et l'étalonnage du système d'enregistrement que ces informations ont pu être récupérées.

2.3.2.9 *Evénement survenu à l'étranger en 2002 et traité par le BEA*

L'exploitant n'a fourni aucune information. L'exploitation de l'enregistreur a donc été partielle, quatre paramètres seulement ayant été identifiés. Parmi ceux-ci, l'accélération verticale présentait des valeurs physiquement impossibles, laissant supposer un problème d'étalonnage des accéléromètres ou l'existence d'une fonction de conversion à appliquer aux valeurs enregistrées.

2.3.3 Problèmes d'étalonnage

2.3.3.1 *Evénement survenu à l'étranger en 2001 à un avion de construction française*

Le numéro de série du boîtier d'acquisition fourni par l'exploitant ne correspondait pas à celui du boîtier installé sur l'avion. Les travaux effectués à l'aide d'une grille fournie par le constructeur sur la base de l'information initiale ont permis de conclure à la non-adéquation de la grille. L'exploitant a ensuite fourni un autre document qui comportait des erreurs. En particulier, l'évolution d'un paramètre discret au moment de l'accident a soulevé des interrogations, avant qu'il n'apparaisse que ce paramètre était erroné. L'enquête a également mis en

évidence des problèmes d'étalonnage dus à une défaillance de la carte d'acquisition des signaux de type synchro du boîtier d'acquisition. Ainsi, les erreurs sur les attitudes de l'avion et sur les positions des gouvernes étaient de l'ordre de deux à trois degrés⁽¹¹⁾. Une vérification régulière de l'étalonnage des chaînes d'acquisition aurait permis de déceler ce problème.

2.3.3.2 *Événements concernant un exploitant français*

Au cours d'un été, un nombre significatif de dépassements de valeur limite d'EGT sur un type de moteur de la flotte avait été identifié. Or, pendant cette période, l'analyse systématique des enregistrements effectuée par l'exploitant n'avait jamais mis en évidence de tels dépassements. Au cours d'une opération particulière et spécifique de dépouillement de paramètres, il a été mis en évidence de façon fortuite une valeur aberrante des valeurs EGT enregistrées (700 °C pour une valeur normale avoisinant les 950 °C au décollage). Cette anomalie a conduit à vérifier la grille de décodage du paramètre EGT. Une étude comparative des valeurs relevées dans le poste de pilotage et des paramètres enregistrés a permis de constater qu'un coefficient de la formule de conversion était erroné.

2.4 Etat des lieux dans vingt compagnies aériennes françaises

2.4.1 Participation des compagnies aériennes

Vingt compagnies aériennes de transport public de passagers exploitant des avions équipés de FDR ont participé à cette étude (liste en annexe IV).

Les points abordés ont notamment concerné :

- le matériel exploité,
- les moyens de lecture utilisés,
- l'origine et la mise à jour des grilles de décodage,
- le programme de maintenance des enregistreurs,
- l'étalonnage éventuel des chaînes de mesure et d'acquisition,
- des questions annexes sur les CVR.

2.4.2 Maintenance des enregistreurs

Dix-huit exploitants sous-traitent la maintenance de leurs FDR. Deux révisent cet équipement en interne.

2.4.3 Retour d'expérience et analyse des vols

Dix-neuf exploitants font du retour d'expérience, au travers notamment de bulletins de sécurité des vols. Neuf analysent de façon systématique les paramètres enregistrés, huit de façon non systématique (voir figure 1). L'analyse est considérée comme non systématique lorsqu'elle est limitée à une partie de la flotte

⁽¹¹⁾ Pour rappel, l'OPS 1 exige pour ces paramètres une erreur inférieure à deux degrés.

(par exemple dans le cas d'une flotte hétérogène) ou à certaines catégories d'événements. L'analyse des paramètres enregistrés par le FDR permet de détecter et de corriger de nombreux problèmes, tels que l'absence d'enregistrement, des valeurs aberrantes, etc.

Environ 30 % des compagnies confient leur analyse des paramètres de vol à un sous-traitant.

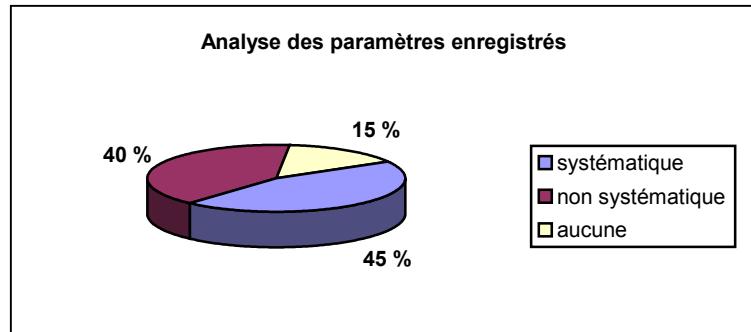


Figure 1

Les petites entreprises (moins de cent personnes) rencontrent des difficultés pour mettre en œuvre un programme d'analyse. Les structures de plus de cent personnes font toutes de l'analyse à divers degrés. L'analyse systématique est plus répandue parmi les compagnies aériennes ayant plus de cinq cents personnes.

La figure 2 présente la répartition de l'analyse des paramètres enregistrés en fonction de l'effectif des différents exploitants.

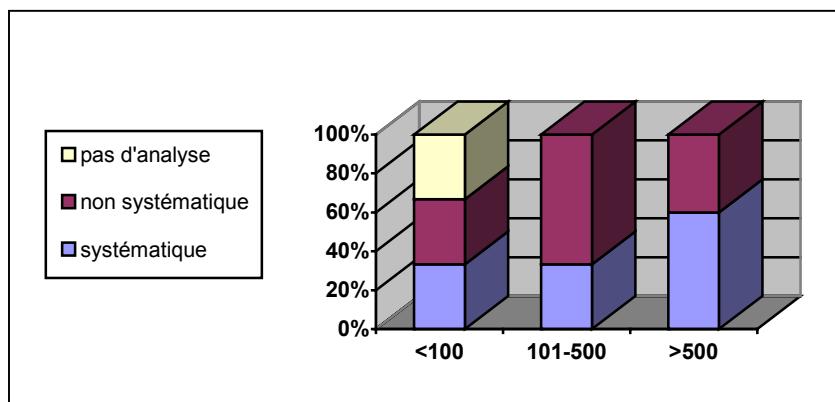


Figure 2

2.4.4 Documents de décodage

Onze exploitants possèdent l'ensemble des documents de décodage de leur flotte. Dix d'entre eux analysent leurs paramètres de vols, dont six de façon systématique.

Quatre exploitants possèdent des documents incomplets ou partiellement obsolètes. Cinq ne les détiennent pas (archivage chez le sous-traitant) ou n'ont pas connaissance de leur existence.

Remarque : un sous-traitant qui saisit informatiquement des documents de décodage à partir d'informations papier a confirmé ces problèmes, en indiquant que les « *documents papier n'étaient pas toujours lisibles, (...) souvent incomplets. Les clients fournissent la grille de décodage, mais oublient souvent les fonctions de conversion associées aux paramètres et les comptes-rendus d'étalonnage* ».

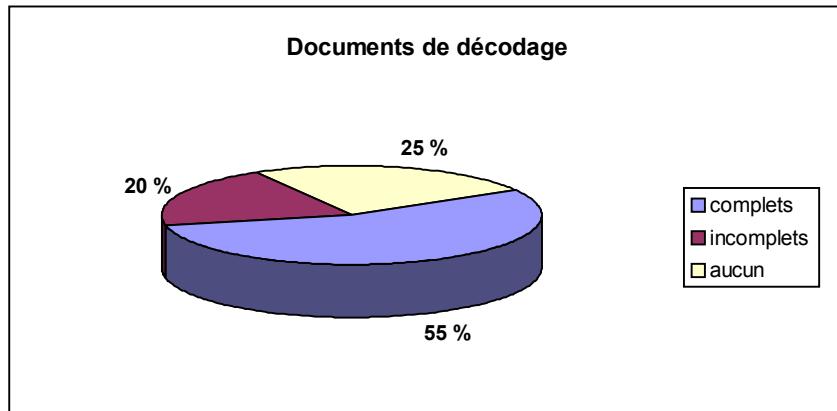


Figure 3

Seules sept compagnies aériennes parmi les vingt utilisant des FDR (soit 35 %) ont déposé leurs documents de décodage auprès de leur autorité de tutelle (DAC). Il convient de préciser que ces documents ne sont pas nécessairement complets et à jour.

Comme pour l'analyse des paramètres enregistrés, ce sont essentiellement les petites et les moyennes structures qui ne possèdent pas de façon complète les documents de décodage des enregistreurs de paramètres.

De plus, c'est surtout le cas pour les avions qui ont eu des exploitants successifs et dont certains systèmes ont été modifiés sans véritable mise à jour des documents de décodage.

Remarque : l'obsolescence des documents de décodage a été également constatée chez les exploitants étrangers (le NTSB a produit une étude similaire en 1997).

2.4.5 Contrôle d'étalonnage des chaînes de mesure et d'acquisition

Aucun exploitant n'effectue un contrôle d'étalonnage des chaînes de mesure et d'acquisition.

Lors d'opérations de maintenance, tous les éléments des chaînes d'acquisition sont vérifiés de façon séparée chez 55 % des exploitants ayant participé à cette étude. Pour les autres exploitants, les vérifications sont partielles ou inexistantes.

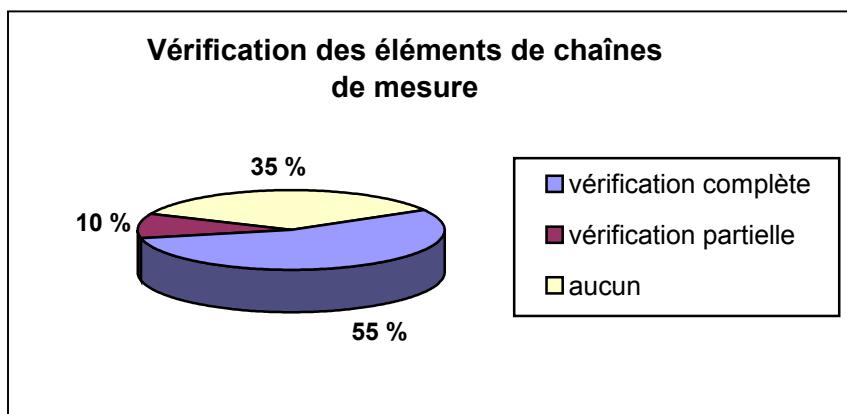


Figure 4

2.4.6 Récapitulatif

En résumé, sur les vingt compagnies aériennes françaises ayant participé à l'étude :

- 55 % possédaient l'ensemble des documents de décodage de leur flotte ;
- 35 % avaient déposé leurs documents de décodage auprès de l'autorité de tutelle ;
- aucune n'effectuait l'étalonnage de l'ensemble de la chaîne de mesure ;
- 55 % effectuaient une vérification des différents éléments des chaînes de mesure des paramètres réglementaires ;
- 85 % effectuaient l'analyse des paramètres, dont 45 % de façon systématique et 40 % de façon non systématique.

Sur les onze compagnies qui possédaient les documents de décodage, 90 % effectuaient l'analyse des paramètres.

3 - CONCLUSIONS

Les organismes d'enquête sont fréquemment confrontés à des problèmes de qualité des données enregistrées et d'exploitation des documents de décodage.

Ces problèmes de lecture et d'analyse des données FDR pénalisent la sécurité aérienne en ralentissant ou en limitant l'enquête technique destinée à prévenir de futurs accidents.

Les problèmes relatifs à la qualité des données ont essentiellement pour origine :

- une maintenance insuffisante de l'enregistreur ;
- un défaut d'archivage ou de révision des documents de décodage notamment après une reprogrammation du FDAU ou un changement d'exploitant ;
- une vérification incomplète des paramètres enregistrés par le FDR ;
- une vérification partielle des éléments des chaînes de mesure qui ne garantit pas le fonctionnement global de chaque chaîne.

Ces problèmes sont souvent liés à une méconnaissance des particularités propres aux FDR (surtout au sein des entreprises de moins de cent personnes). Ceci peut s'expliquer en partie par la complexité de la réglementation.

4 - RECOMMANDATIONS DE SECURITE

Rappel : conformément à l'article 10 de la Directive 94/56/CE sur les enquêtes accidents, une recommandation de sécurité ne constitue en aucun cas une présomption de faute ou de responsabilité dans un accident ou un incident.

4.1 Présence d'enregistreurs à bord

Le DHC 6 immatriculé F-OGES accidenté le 24 mars 2001 à Saint Barthélemy n'était pas équipé d'enregistreur⁽¹²⁾, ce qui avait retardé significativement la détermination des causes de l'accident.

Devant les difficultés rencontrées, le BEA avait recommandé que :

- *la DGAC et les JAA prennent en compte de façon urgente le besoin d'enregistreurs de bord pour la détermination rapide aux fins de sécurité des circonstances et des causes des accidents survenus en transport aérien public et qu'à cet effet ces organismes :*
 - *imposent au plus tôt et sans possibilité de dérogation l'emport d'au moins un enregistreur de vol à bord des avions exploités en transport public de masse maximale certifiée au décollage égale ou inférieure à 5 700 kg et dont la configuration maximale approuvée en sièges passagers est de dix ou plus, quelle qu'en soit la date de certification ;*
 - *étendent ces dispositions aux avions de même type effectuant du transport de fret ;*
 - *étudient l'extension de ces dispositions aux hélicoptères exploités en transport public.*

En réponse, le SFACT/RE avait indiqué en 2004 que l'Equipment Subcommittee (EGSC) et le Flight Recorder Subgroup (FRSG) des JAA avaient proposé une nouvelle rédaction du paragraphe concerné du JAR OPS 1 « pour étendre l'obligation d'emport du CVR pour les avions de moins de 5,7 tonnes et plus de neuf passagers, quelle que soit la date de délivrance du Certificat Individuel de Navigabilité et quel que soit le type de propulseur ».

4.2 Documents de décodage

L'un des principaux problèmes liés à l'exploitation des enregistreurs de paramètres réside dans l'accès aux documents de décodage associés, avant toute autre opération. Le supplément D à l'Annexe 6, première partie, prévoit que l'exploitant doit tenir à jour une telle documentation.

⁽¹²⁾ Conformément à la réglementation française, l'emport d'enregistreurs de vol n'était pas obligatoire pour cet appareil car son certificat de navigabilité individuel avait été délivré avant le 1^{er} avril 1998 ;

En France, l'arrêté du 12 mai 1997 demande aux exploitants d'archiver le document permettant le décodage de l'enregistrement. Cependant cette grille de décodage est souvent absente ou incomplète, et encore trop rarement déposée auprès des DAC.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **la DGAC s'assure que les exploitants et les DAC sont en possession des mêmes documents de décodage, que ces derniers sont complets et à jour,**

et que

- **l'OACI s'assure, au travers de ses audits, que les Etats signataires veillent bien à ce que leurs exploitants puissent fournir rapidement des documents de décodage complets et à jour.**

Par ailleurs, l'emploi de mémoires électroniques dans les enregistreurs de vols ouvre potentiellement la voie à de nouvelles spécifications techniques.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **l'AESA mette en place des exigences réglementaires visant à enregistrer les informations de décodage au sein des enregistreurs eux-mêmes, dans un format lisible par les organismes d'enquête.**

4.3 Analyse des paramètres enregistrés

Dans le chapitre 3.2 de l'Annexe 6, l'OACI recommande qu'*« à compter du 1^{er} janvier 2005 les exploitants d'avions dont la masse maximale certifiée au décollage excède 27 000 kg établissent et maintiennent un programme d'analyse des données de vol dans le cadre de leur programme de prévention des accidents et de sécurité des vols »*. En effet, l'analyse systématique des paramètres de vol est un important outil de prévention s'inscrivant dans le cadre du retour d'expérience.

L'étude a montré que, dans la mesure où les paramètres du FDR sont les mêmes que ceux utilisés pour l'analyse des vols, de nombreux problèmes liés à l'enregistrement des paramètres étaient détectés à cette occasion. L'analyse des paramètres enregistrés n'est pas obligatoire selon le JAR OPS 1, mais l'arrêté du 12 mai 1997 va au delà de la réglementation européenne et impose une analyse systématique.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **les JAA amendent dans les meilleurs délais le JAR OPS 1 pour imposer la mise en œuvre d'un programme d'analyse systématique des paramètres enregistrés.**

4.4 Qualité de l'enregistrement

La huitième édition de l'Annexe 6 et le document ED 112 demandent une action correctrice dès qu'un paramètre obligatoire n'est pas correctement enregistré. Ce n'est pas le cas des réglementations européenne et française.

L'Annexe 6 et le document ED 112 mentionnent un autre problème ignoré dans les textes européens : « *une période significative de données de mauvaise qualité* ». Ce type de problèmes risque effectivement d'empêcher toute analyse.

Enfin, il existe des enregistrements dont la structure chronologique ne respecte pas la chronologie des vols. Cela se traduit par des chevauchements de périodes de temps, des anachronismes et des pertes importantes d'information.

En conséquence le BEA recommande que :

- **la DGAC, en liaison avec les JAA, s'assure que la réglementation européenne est mise en conformité avec l'Annexe 6 en ce qui concerne l'obligation pour l'exploitant d'effectuer une action correctrice dès qu'un paramètre obligatoire n'est pas correctement enregistré ou que la structure chronologique de l'enregistrement ne respecte pas l'historique des vols effectués.**

4.5 Vérification des paramètres enregistrés

De nombreux exploitants de taille moyenne ne possèdent pas les ressources suffisantes pour effectuer eux-mêmes la vérification périodique des paramètres de l'enregistrement réglementaire. Cette tâche est donc sous-traitée, mais les comptes-rendus fournis par les sous-traitants sont souvent informels et difficiles à interpréter par des non-spécialistes.

Des précisions sur la forme du compte-rendu de vérification sont souhaitables, afin d'en faciliter la lecture et la compréhension par le responsable de la sécurité des vols de l'exploitant, et le cas échéant par les autorités d'enquête.

En conséquence le BEA recommande que :

- **la DGAC, en concertation avec le BEA, étudie la formalisation du compte-rendu de vérification des paramètres dont l'enregistrement est obligatoire.**

Remarque : un compte-rendu détaillé de vérification des paramètres pourrait contenir :

1. La liste de tous les paramètres inspectés, avec pour chacun d'entre eux, le rappel :
 - de sa localisation dans la trame de décodage (cycle, sous-cycle, mot, premier et dernier bit),
 - de la fonction de conversion utilisée pour obtenir sa valeur en unités techniques.
2. Des planches graphiques représentant les courbes des paramètres inspectés, au cours de la phase de croisière ainsi que de la phase de décollage et de la phase d'atterrissement d'un même vol :
 - chaque graphe devrait représenter une période de temps de 3 à 5 minutes,

- l'axe des temps devrait être lisible et numéroté toutes les 10 ou 20 secondes,
 - chaque graphe devrait comporter un commentaire indiquant la date, l'heure, la phase de vol (décollage, montée, croisière stabilisée, descente, approche ou atterrissage) et les aérodromes d'origine et de destination,
 - l'axe vertical de chaque paramètre devrait être représenté de telle sorte qu'une lecture graphique de la valeur d'un paramètre (exprimée en unité technique) à un instant donné soit possible,
 - chaque courbe devrait être accompagnée d'une étiquette permettant d'identifier le paramètre tracé,
 - chaque planche graphique devrait être accompagnée d'un tableau représentant sur la même période les valeurs enregistrées des paramètres tracés, exprimées en unités techniques.
3. Une analyse de la validité de chaque paramètre inspecté à partir des informations données par les planches graphiques et les tableaux correspondants :
- cette analyse devrait démontrer la cohérence de chaque paramètre, en citant des valeurs enregistrées exprimées en unités techniques,
 - cette analyse pourrait s'appuyer sur quelques points caractéristiques du vol ⁽¹³⁾, sur les performances données pour ce type d'appareil dans les documents du constructeur, ou sur l'historique des procédures effectivement réalisées pendant le vol dépouillé
4. Une vérification de la conformité de la structure chronologique de l'enregistrement complet s'appuyant sur l'historique des vols
- cette vérification pourrait s'appuyer sur l'évolution de quelques paramètres représentatifs d'un cycle de vol tels que vitesse-air et altitude-pression.
 - une vérification basée sur des planches graphiques portant sur toute la durée de l'enregistrement serait suffisante.

4.6 Contrôle d'étalonnage des chaînes de mesure et d'acquisition

L'étude a montré qu'il était souhaitable d'étalonner systématiquement les chaînes d'acquisition à la mise en service d'un avion par un nouvel exploitant, après une modification du système FDR et après chaque grande visite de maintenance.

Or, l'étalonnage des chaînes de mesure et d'acquisition ne figure pas dans la réglementation européenne.

En conséquence le BEA recommande que :

- **la DGAC, en liaison avec les JAA, étudie un dispositif de contrôle d'étalonnage systématique des chaînes de mesure et d'acquisition des paramètres dont l'enregistrement en vol est obligatoire.**

⁽¹³⁾ Tels que rotation au décollage, palier stabilisé, virage stabilisé, arrondi, etc.

Liste des annexes

ANNEXE I

Document technique EUROCAE 55, mai 1990

ANNEXE II

Extraits du document technique EUROCAE 112, mars 2003

ANNEXE III

Extraits de textes réglementaires

ANNEXE IV

Exploitants ayant participé à l'étude

DOCUMENT EUROCAE 55

L'ED 55⁽¹⁴⁾, publié en mai 1990 définit les « *Spécifications de Performances Opérationnelles Minimales pour Systèmes Enregistreur de Données de Vol* ». Ce document a été repris par les réglementations nationales actuelles mais est en voie d'être remplacé par l'ED 112.

Les informations concernant l'homologation et le suivi des enregistreurs se trouvent dans deux annexes à l'ED 55 :

- annexe 3 : « *Essais en vol* » ;
- annexe 4 : « *Pratiques de maintenance* ».

Les essais d'installation du système enregistreur

L'annexe 3 (A3) définit deux programmes d'essais au sol et en vol nécessaires pour vérifier la bonne intégration de l'équipement installé :

- les essais sur une installation prototype pour la certification initiale de l'équipement ;
- les essais accompagnant l'installation en série.

Lors de ces essais, l'installateur doit vérifier la bonne corrélation entre « *lectures instrumentales et enregistrements* ».

La documentation résultant de ces essais doit comprendre d'après le paragraphe A3.3 :

- un compte-rendu ;
- les enregistrements des essais en vol « *sous forme de graphiques et de tableaux* ».

Le paragraphe 2.17 du chapitre 2 de l'ED 55 présente les documents recommandés pour la certification initiale de l'équipement, en particulier : « *Code et logique de conversion du flux de données enregistrées en paramètres exprimés en unités techniques*. »

La maintenance du système enregistreur

L'annexe 4 (A4) définit l'ensemble des pratiques de maintenance recommandées par l'EUROCAE.

Cette annexe pose le principe que le programme d'entretien doit être défini par l'installateur : « *L'installateur devra effectuer une analyse du système en vue d'identifier les éléments (...) qui seraient immédiatement détectables, en cas de panne par l'équipage ou par le personnel de maintenance. Les inspections et les*

⁽¹⁴⁾ Les ED (EUROCAE Documents) sont aujourd'hui une référence et les organismes de régulation s'y réfèrent dans les textes réglementaires qu'ils produisent.

essais de fonctionnement convenables ainsi que leur périodicité devront être établis comme indiqué par l'analyse⁽¹⁵⁾. »

Ce programme d'entretien doit notamment contenir des opérations de maintenance concernant la qualité de l'enregistrement :

A/ Vérification de l'enregistrement des paramètres

Le paragraphe A4.1.3 spécifie que : « *Une copie d'un enregistrement particulier effectué en vol devra être faite* » afin « *d'identifier les capteurs défectueux ou parasités* ».

C'est l'installateur qui détermine la périodicité des vérifications, mais le tableau A4-2 propose deux mille heures ou douze mois. Ce tableau contient en outre les recommandations suivantes :

- « *Copier et relire au minimum les quinze dernières minutes enregistrées en vol* » ;
- « *Contrôler que tous les paramètres obligatoires sont enregistrés avec une qualité acceptable* ».

B/ Procédure de vérification d'étalonnage des chaînes d'acquisition

La vérification des étalonnages permet de vérifier l'adéquation de la fonction de conversion donnée par les documents de décodage de l'exploitant. Cette fonction doit reconstituer à partir du mot binaire enregistré la valeur physique du paramètre correspondant. Dans le cas contraire, une action correctrice sur les chaînes d'acquisition du paramètre ou une correction de la fonction de conversion doivent être effectuées.

Il faut insister sur le fait que cette tâche porte sur l'ensemble des systèmes et doit donc être effectuée a bord de l'avion. Elle ne doit pas être confondue avec les tests au banc de l'enregistreur de paramètre ou de l'unité d'acquisition.

Cette procédure est expliquée en détail dans la partie A4.2 « *Procédure d'essai* » :

- elle doit être effectuée « *aussi bien après la première installation d'un système enregistreur de vol qu'à intervalles réguliers par la suite* ». Elle concerne les chaînes d'acquisition de tous les paramètres continus et discrets (paragraphe A4.2.2) ;
- l'exploitant doit pendant cette opération remplir une « *table sur un feuillet d'enregistrement de la calibration*⁽¹⁶⁾ » (paragraphe A4.2.4) et porter en regard de la valeur simulée en entrée (au niveau du capteur) et de la plage de valeurs acceptables en sortie (au niveau de l'enregistreur) la valeur « *lue sur l'instrument d'essai* ». Le tableau A4-1 fournit un exemple de table ;

⁽¹⁵⁾ ED 55, annexe 4 paragraphe 1.1.

⁽¹⁶⁾ L'ED 55 utilise le terme « *calibration* » (qui est un anglicisme) pour désigner l'étalonnage.

- il faut utiliser un « *équipement d'essai* » pour simuler une entrée physique au niveau du capteur (paragraphe A4.2.5), ou utiliser un équipement de mesure lorsque la valeur ne peut pas être vérifiée en cockpit (paragraphe A4.2.7).

C/ Documents issus de l'étalonnage

Le paragraphe A4.1.4 recommande que l'exploitant archive les documents issus de la vérification d'étalonnage et les mette « *à la disposition des autorités d'enquête lorsqu'elles les demandent.* »

DOCUMENT EUROCAE 112

L'ED 112 s'intitule : « *Minimum Operational Performance Specification (MOPS) for Crash Protected Airborne Recorder Systems* ⁽¹⁷⁾ ». Il traite de tous les enregistreurs embarqués. Les enregistreurs de paramètres sont abordés dans la partie II.

Les informations concernant l'homologation et le suivi des enregistreurs se trouvent :

- au chapitre II-6 : « *Equipment Installation and Installed Performance* » qui définit les essais pour l'installation de certification initiale de l'équipement et l'installation en série d'un équipement certifié, ainsi que les documents qui doivent accompagner une installation ;
- à l'annexe II-B : « *Maintenance practices* » qui définit les pratiques de maintenance recommandées à l'exploitant.

Les essais pour la certification initiale du système enregistreur

Les essais pour la certification initiale sont détaillés dans le sous-chapitre II-6.3.4. Ils comprennent des essais au sol et des essais en vol.

A/ Essais au sol : paragraphe II-6.3.4.1

L'installateur doit étalonner les chaînes d'acquisition (paragraphe II-6.3.4.1.b) et définir une table d'étalonnage pour ces essais : « *Each calibration points should be predetermined and tabulated on a record sheet.* ⁽¹⁸⁾ » (paragraphe II-6.3.4.1.d). Un exemple de table d'étalonnage est donné au tableau II-6.1.

B/ Essais en vol : paragraphe II-6.3.4.2

Les essais en vol sont effectués pour reproduire les conditions environnementales de fonctionnement de l'équipement et confirmer les résultats des essais au sol.

Les essais d'installation en série

Les essais d'installation en série sont expliqués dans le paragraphe II-6.3.5. Une vérification au sol de l'étalonnage de la chaîne d'acquisition de chaque paramètre doit être effectuée (paragraphe II-6.3.5.1.b). Des essais en vol ne sont pas nécessaires.

⁽¹⁷⁾ Spécifications de Performances Opérationnelles Minimales pour les Systèmes Enregistreurs Embarqués Protégés. À compter de mars 2003, ce document remplace l'ED 55 (mai 1990) et l'ED 56A (décembre 1993) (EUROCAE Bulletin, n° 26, 31 mars 2003).

⁽¹⁸⁾ Chaque point de l'étalonnage devrait être prédéterminé et tabulé dans un feuillet d'enregistrement.

La documentation accompagnant l'installation

Tous les documents recommandés sont énumérés dans le paragraphe II-6.3.7.

Au cours des essais sur prototype, il est recommandé que l'installateur et l'exploitant établissent un rapport contenant les résultats des essais de certification, notamment les comptes-rendus d'étalonnage : « *A report (...) shall describe the FDR system installation (...) and shall contain the results of all ground and flight tests, including calibrations and correlations. A copy of the actual ground and flight test data shall be retained by the installer and operator.* ⁽¹⁹⁾ ».

Il est recommandé en outre que l'installateur et l'exploitant disposent d'un document contenant les résultats de l'étalonnage lors d'une installation de série (paragraphe II-6.3.7.b).

Le paragraphe II-6.3.7.d décrit les informations à établir et à tenir à la disposition des autorités, généralement dans le document de décodage :

- localisation du paramètre dans la trame (sous-cycles, mot, premier bit, nombre de bits, etc.) ;
- toute information nécessaire à la conversion de la valeur binaire en valeur technique pour les paramètres continus (coefficients polynomiaux, tableau de conversion, équation prédéfinie, etc.) et l'interprétation des valeurs discrètes pour les paramètres discrets ;
- unités, conventions de signes, etc.

Modifications de la liste des paramètres enregistrés

Le paragraphe II-6.3.6 recommande une nouvelle certification lorsque la liste des paramètres enregistrés est enrichie : « *If new parameters or discrete signals are added (...) re-certification testing is required.* ⁽²⁰⁾ ».

On distingue néanmoins deux cas lors de l'ajout de paramètres enregistrés :

- Si l'ajout ne requiert pas de modification des composants du système enregistreur, les tests d'évaluation peuvent se limiter aux nouveaux paramètres (paragraphe II-6.3.6.a). Cependant une note recommande d'évaluer la nécessité de vérifier le bon enregistrement des paramètres existants.

⁽¹⁹⁾ Paragraphe II-6.3.7.a : « Un rapport (...) doit décrire l'installation du système FDR (...) et contenir les résultats de tous les essais au sol en vol, incluant les étalonnages et les corrélations. Une copie des données réelles des essais au sol et en vol doit être archivée par l'installateur et l'exploitant. ».

⁽²⁰⁾ Si des paramètres ou des discrets nouveaux sont ajoutés (...) des essais de re-certification sont requis.

- Si l'ajout implique des changements importants du système enregistreur, tous les paramètres doivent être réévalués, comme pour une installation initiale : « *Where significant (...) changes result from the requirement to augment the list of parameters (...), a re-certification of the system will be necessary with ground testing of all parameters.* ⁽²¹⁾ ».

Les pratiques de maintenance

L'annexe II-B définit l'ensemble des pratiques de maintenance recommandées par l'EUROCAE. Cette annexe pose le principe que le programme d'entretien doit être défini par l'installateur du système à partir d'une analyse : « *The system installer shall perform an analysis of the system to identify those parts of the system which, if defective, would not be readily apparent to the flight crew or maintenance personnel. Appropriate inspections and functional checks (...) shall be established as indicated by the analysis.* ⁽²²⁾ ».

Le paragraphe II-B.1.7 définit la panne de l'enregistreur de paramètre qui nécessite une action de maintenance : « *Flight recorder systems should be considered unserviceable if there is a significant period of (...) unintelligible signal or if one or more of the mandatory parameters is not recorded correctly.* ⁽²³⁾ ».

En outre, la Note 1 identifie des risques de déréglage des chaînes de mesure et d'acquisition qui devraient être pris en compte dans cette analyse :

- « *The dismantling and reassembling of some part of an aircraft may affect the adjustment of a sensor.* ⁽²⁴⁾ » ;
- « *Any change to the interconnectivity between sensor and sampling equipment which may affect an analogue signal provided by the sensor (e.g. feeding the sensor output to an other equipment).* ⁽²⁵⁾ » ;
- « *The characteristics of some sensors and transducers are susceptible to drift.* ⁽²⁶⁾ ».

⁽²¹⁾ Paragraphe II-6.3.6.b : « Lorsque des changements significatifs (...) résultent de l'exigence d'augmenter la liste des paramètres (...) une re-certification du système sera nécessaire avec des essais au sol pour tous les paramètres ».

⁽²²⁾ Paragraphe II-B.1.1 : « L'installateur doit effectuer une analyse du système en vue d'identifier les éléments qui en cas de panne ne seraient pas immédiatement détectables par l'équipage ou par le personnel de maintenance. Les inspections et les contrôles de fonctionnement convenables (...) doivent être établis comme indiqué par l'analyse ».

⁽²³⁾ Les systèmes enregistreurs de vol devraient être considérés comme hors service s'il y a une période significative (...) de signal inintelligible ou si un ou plusieurs paramètres obligatoires ne sont pas enregistrés correctement.

⁽²⁴⁾ Le démontage et le remontage de certaines parties d'un avion peuvent affecter le réglage d'un capteur.

⁽²⁵⁾ Toute modification de l'interconnexion entre le capteur et l'équipement d'échantillonnage qui peut affecter un signal analogique fourni par le capteur (par exemple lorsque la sortie du capteur alimente un nouvel équipement).

⁽²⁶⁾ Les caractéristiques de certains capteurs sont susceptibles de dériver.

Ces problèmes de mauvais réglage des chaînes d'acquisition ne sont pas détectables lorsque le paramètre à enregistrer n'est surveillé par aucun système embarqué, c'est pourquoi :

- la Note 2 recommande une attention particulière dans ce cas,
- le paragraphe II-B.1.2 rappelle que les tâches d'entretien doivent permettre de vérifier le bon fonctionnement des chaînes de mesure et d'acquisition complètes de l'enregistreur : « *The checks will include a validation of the whole measuring and processing channel from the sensor input to the acquisition unit output* ⁽²⁷⁾ ».

Une vérification du bon fonctionnement de l'enregistreur n'est donc pas suffisante.

Le programme d'entretien comporte deux grands types d'opérations de maintenance concernant la qualité de l'enregistrement :

A/ Vérification de l'enregistrement des paramètres

Le paragraphe II-B.1.3 recommande une inspection de l'enregistrement à intervalles réguliers, avec plusieurs précautions à prendre :

- Ce sont les paramètres reconstitués après le traitement des données brutes qui devraient être examinés : « *All mandatory parameters recorded should be expressed in engineering units* ⁽²⁸⁾ ».
- Il conviendrait de copier puis de relire au minimum l'enregistrement d'un vol complet afin de pouvoir observer pour chaque paramètre différentes valeurs de sa plage opérationnelle. Ainsi certains paramètres devraient être observés dans plusieurs phases du vol (décollage, montée, croisière, approche, atterrissage). « *When applicable, each mandatory parameter should be checked for different values of its operational range. For this purpose, some parameters should be inspected at different flight phases.* ⁽²⁹⁾ » (paragraphe II-B.1.3).

Le tableau II-B -1 propose une périodicité de trois mille heures ou douze mois.

Il est également précisé dans le paragraphe II-B.1.3 que l'exploitant devrait archiver la copie d'enregistrement la plus récente.

⁽²⁷⁾ Les vérifications incluront une validation de la chaîne complète d'acquisition et de traitement, de l'entrée du capteur jusqu'à la sortie de l'unité d'acquisition.

⁽²⁸⁾ Tous les paramètres enregistrés obligatoires devraient être exprimés en unités techniques.

⁽²⁹⁾ Lorsque cela est possible, chaque paramètre obligatoire devrait être vérifié pour différentes valeurs de sa plage opérationnelle. Dans ce but, certains paramètres devraient être inspectés à différentes phases de vol.

B/ Procédure de vérification d'étalonnage des chaînes d'acquisition

La procédure de vérification de l'étalonnage des chaînes d'acquisition est indiquée dans le tableau II-B.1. La vérification porte sur les chaînes d'acquisition entières : « *Check serviceability and calibration of the measuring and processing chain from sensors to recorders* ⁽³⁰⁾ ». Aucune périodicité n'est proposée.

Documents issus de l'étalonnage

Il est aussi précisé que l'exploitant doit archiver les documents issus de la vérification d'étalonnage des capteurs afin de pouvoir les fournir aux autorités d'enquête si nécessaire (paragraphe II-B.1.4).

⁽³⁰⁾ Vérifier le bon fonctionnement et l'étalonnage de la chaîne de mesure et d'acquisition des capteurs à l'enregistreur.

EXTRAITS DE TEXTES REGLEMENTAIRES

Périodicité des contrôles définie par la lettre 98159 du SFACT

ANNEXE à la lettre 98159/SFACT/E.EN

Périodicité de contrôle des DFDR et des capteurs
(ne remplacent pas les opérations de maintenance requises par le constructeur)

	Sans analyse de vol ou analyse de vol ne prenant pas en compte la totalité des paramètres DFDR requis		Analyse de vol permettant de vérifier la totalité des paramètres DFDR requisⁱ	
Type de DFDR	DFDR à bandes	SSFDR ⁱⁱ	DFDR à bandes	SSFDR
Périodicité de contrôleⁱⁱⁱ	Inchangée : 2000 h ou 12 mois	4000 h ou 2 ans	4000 h ou 2 ans	8000 h ou 4 ans ^{iv}
Type de contrôle	Dépose, contrôle de l'enregistreur et lecture d'une phase dans laquelle tous les paramètres évoluent	Recopie sur avion des paramètres enregistrés et lecture d'une phase de vol dans laquelle tous les paramètres évoluent	Dépose et contrôle de l'enregistreur	Recopie sur avion des paramètres enregistrés et lecture d'une phase de vol dans laquelle tous les paramètres évoluent

ⁱ Cela implique que la source de prélèvement des paramètres pour l'analyse soit identique à celle utilisée pour le DFDR et aussi proche que possible.

ⁱⁱ Solide State Flight Data Recorder.

ⁱⁱⁱ Première butée atteinte.

^{iv} A condition que l'installation permette de signaler automatiquement toute absence de paramètre à l'entrée du SSFDR. Dans le cas contraire, la périodicité applicable est ramenée à celle du SSFDR sans analyse des vols.



Extrait de l'Annexe 6 (OACI), première partie : paramètres à enregistrer –1/2

Annexe 6 — Exploitation technique des aéronefs

1^{re} Partie

Tableau D-1
Paramètres pour enregistreurs de données de vol

Numéro de série	Paramètre	Plage de mesure	Intervalle d'enregistrement (secondes)	Limites de précision (signal d'entrée comparé au dépouillement de l'enregistreur)
1	Temps (UTC, lorsque disponible, sinon temps réel)	24 heures	4	±0,125 % par heure
2	Altitude-pression	de -300 m (-1 000 ft) à l'altitude maximale de certification +1 500 m (+5 000 ft)	1	de ±30 m à ±200 m (de ±100 ft à ±700 ft)
3	Vitesse indiquée	de 95 km/h (50 kt) à max V_{S0} (<i>Note 1</i>) V_{S0} à 1,2 V_D (<i>Note 2</i>)	1	±5 % ±3 %
4	Cap	360°	1	±2°
5	Accélération normale	de -3 g à +6 g	0,125	±1 % de la valeur maximale à l'exclusion de l'erreur de référence de ±5 %
6	Assiette en tangage	±75°	1	±2°
7	Assiette en roulis	±180°	1	±2°
8	Émission de radio	En cours ou non (une marque d'événement)	1	
9	Régime sur chaque moteur (<i>Note 3</i>)	Plage totale	1 (par moteur)	±2 %
10	Volet de bord de fuite ou position de la commande	Plage totale ou repère de position	2	±5 % ou comme l'indicateur du pilote
11	Volet de bord d'attaque ou position de la commande	Plage totale ou repère de position	2	±5 % ou comme l'indicateur du pilote
12	Position de l'inverseur de poussée	Effacé, en mouvement, en inversion	1 (par moteur)	
13	Position de la commande déporteurs sol/aérofreins	Plage totale ou position au coup par coup	1	±2 %, sauf cas exceptionnel nécessitant plus de précision
14	Température extérieure	Plage du détecteur	2	±2 °C
15	Mode pilote automatique/automanette/commandes automatiques de vol (CADV), et état d'embrayage	Combinaison appropriée de marques d'événement	1	

Note.— Les 15 paramètres précédents répondent aux conditions spécifiées pour les enregistreurs Type II.

16	Accélération longitudinale	±1 g	0,25	±1,5 % de la valeur maximale, à l'exclusion de l'erreur de référence de ±5 %
17	Accélération latérale	±1 g	0,25	±1,5 % de la valeur maximale, à l'exclusion de l'erreur de référence de ±5 %

Extrait de l'Annexe 6 (OACI), première partie : paramètres à enregistrer –2/2

Supplément D

Annexe 6 — Exploitation technique des aéronefs

Numéro de série	Paramètre	Plage de mesure	Intervalle d'enregistrement (secondes)	Limites de précision (signal d'entrée comparé au dépouillement de l'enregistreur)
18	Action du pilote et/ou position des gouvernes — commandes principales (tangage, roulis, lacet) (<i>Note 4</i>)	Plage totale	1	$\pm 2^\circ$ sauf cas exceptionnel nécessitant plus de précision
19	Position du compensateur en tangage	Plage totale	1	$\pm 3\%$ sauf cas exceptionnel nécessitant plus de précision
20	Indication du radioaltimètre	de -6 m à 750 m (de -20 ft à 2 500 ft)	1	$\pm 0,6$ m (± 2 ft) ou $\pm 3\%$ en retenant la plus grande de ces deux valeurs, au-dessous de 150 m (500 ft), et $\pm 5\%$ au-dessus de 150 m (500 ft)
21	Écart par rapport à l'alignement de descente	Plage du signal	1	$\pm 3\%$
22	Écart par rapport à l'alignement de piste	Plage du signal	1	$\pm 3\%$
23	Franchissement de la radioborne	Marque d'événement	1	
24	Avertisseur principal	Marque d'événement	1	
25	Choix de fréquence NAV 1 ou 2 (<i>Note 5</i>)	Plage totale	4	Selon l'installation
26	Distance DME 1 ou 2 (<i>Notes 5 et 6</i>)	de 0 à 370 km	4	Selon l'installation
27	État du microcontact de train d'atterrissement	Marque d'événement	1	
28	Avertisseur de proximité du sol (GPWS)	Marque d'événement	1	
29	Angle d'incidence	Plage totale	0,5	Selon l'installation
30	Hydraulique, chaque circuit (basse pression)	Marque d'événement	2	
31	Données de navigation (latitude/longitude, vitesse-sol et angle de dérive) (<i>Note 7</i>)	Selon l'installation	1	Selon l'installation
32	Position train ou sélecteur de train	Marque d'événement	4	Selon l'installation

Note.— Les 32 paramètres précédents répondent aux conditions spécifiées pour les enregistreurs Type I.

Notes.—

1. V_{S_0} = vitesse de décrochage ou vitesse minimale en vol stabilisé en configuration d'atterrissement.
2. V_p = vitesse de calcul en piqué.
3. Enregistrer suffisamment de signaux d'entrée pour déterminer le régime.
4. Pour les avions à commandes classiques, enregistrer soit l'action du pilote, soit la position des gouvernes. Pour les avions à commandes non mécaniques, enregistrer les deux paramètres. Pour les avions ayant des gouvernes en plusieurs parties, il est possible d'accepter une combinaison appropriée des signaux d'entrée, au lieu d'enregistrer séparément les signaux correspondant aux différentes parties.
5. Si le signal est disponible sous forme numérique.
6. Il est préférable d'enregistrer la latitude et la longitude à partir du système de navigation par inertie (INS) ou d'un autre système de navigation.
7. Si les signaux sont facilement disponibles.

Extrait du JAR OPS 1 : paramètres à enregistrer –1/4

Appendix 1 to JAR-OPS 1.715

Flight data recorders - 1 - List of parameters to be recorded

Table A1 - Aeroplanes with a maximum certificated take-off mass of over 5700 kg

Note: The number in the left hand column reflect the Serial Numbers depicted in EUROCAE document ED 55

No.	Parameter
1	Time or relative time count
2	Pressure altitude
3	Indicated airspeed
4	Heading
5	Normal acceleration
6	Pitch attitude
7	Roll attitude
8	Manual radio transmission keying
9	Propulsive thrust/ power on each engine and cockpit thrust/power lever position if applicable
10	Trailing edge flap or cockpit control selection
11	Leading edge flap or cockpit control selection
12	Thrust reverse status
13	Ground spoiler position and/or speed brake selection
14	Total or outside air temperature
15	Autopilot, auto-throttle and AFCS mode and engagement status
16	Longitudinal acceleration (Body axis)
17	Lateral acceleration

Table A2 - Aeroplanes with a maximum certificated take-off mass of 5700 kg or below

Note: The number in the left hand column reflect the Serial Numbers depicted in EUROCAE document ED 55

No.	Parameter
1	Time or relative time count
2	Pressure altitude
3	Indicated airspeed
4	Heading
5	Normal acceleration
6	Pitch attitude
7	Roll attitude
8	Manual radio transmission keying
9	Propulsive thrust/ power on each engine and cockpit thrust/power lever position if applicable
10	Trailing edge flap or cockpit control selection
11	Leading edge flap or cockpit control selection
12	Thrust reverse status
13	Ground spoiler position and/or speed brake selection
14	Total or outside air temperature.
15	Autopilot/auto-throttle engagement status
16	Angle of attack (if a suitable sensor is available)
17	Longitudinal acceleration (Body axis)

Extrait du JAR OPS 1 : paramètres à enregistrer –2/4

Table B - Additional parameters for aeroplanes with a maximum certificated take-off mass of over 27000 kg

Note: The number in the left hand column reflect the Serial Numbers depicted in EUROCAE document ED 55

No.	Parameter
18	Primary flight controls - Control surface position and/or pilot input (pitch, roll, yaw)
19	Pitch trim position
20	Radio altitude
21	Vertical beam deviation (ILS Glide path or MLS Elevation)
22	Horizontal beam deviation (ILS Localiser or MLS Azimuth)
23	Marker Beacon Passage
24	Warnings
25	Reserved (navigation receiver frequency selection is recommended)
26	Reserved (DME distance is recommended)
27	Landing gear squat switch status or air/ground status
28	Ground Proximity Warning System
29	Angle of attack
30	Low pressure warning (hydraulic and pneumatic power)
31	Groundspeed
32	Landing gear or gear selector position

Table C - Aeroplanes equipped with electronic display systems

Note: The number in the centre column reflect the Serial Numbers depicted in EUROCAE document ED 55 table A1.5

No	No.	Parameter
.		
33	6	Selected barometric setting (Each pilot station)
34	7	Selected altitude
35	8	Selected speed
36	9	Selected mach
37	10	Selected vertical speed
38	11	Selected heading
39	12	Selected flight path
40	13	Selected decision height
41	14	EFIS display format
42	15	Multi function /Engine / Alerts display format

Extrait du JAR OPS 1 : paramètres à enregistrer –3/4

Appendix 1 to JAR-OPS 1.720

Flight data recorders - 2 - List of parameters to be recorded

Table A - Aeroplanes with a maximum certificated take-off mass of over 5700 Kg

No	Parameter
1	<i>Time or relative time count</i>
2	<i>Pressure altitude</i>
3	<i>Indicated Airspeed</i>
4	<i>Heading</i>
5	<i>Normal Acceleration</i>
6	<i>Pitch attitude</i>
7	<i>Roll attitude</i>
8	<i>Manual radio transmission keying unless an alternate means to synchronise FDR and CVR recordings is provided</i>
9	<i>Power on each engine</i>
10	<i>Trailing edge flap or cockpit control selection</i>
11	<i>Leading edge flap or cockpit control selection</i>
12	<i>Thrust reverse position (for turbojet aeroplanes only)</i>
13	<i>Ground spoiler position and/or speed brake selection</i>
14	<i>Outside air temperature or Total Air Temperature</i>
15a	<i>Autopilot engagement status</i>
15b	<i>Autopilot operating modes, autothrottle and AFCS systems engagement status and operating modes.</i>

Table B - Additional parameters for aeroplanes with a maximum certificated take-off mass over 27000 kg

No	Parameter
16	<i>Longitudinal acceleration</i>
17	<i>Lateral acceleration</i>
18	<i>Primary flight controls - Control surface position and/or pilot input (pitch, roll and yaw)</i>
19	<i>Pitch trim position</i>
20	<i>Radio altitude</i>
21	<i>Glide path deviation</i>
22	<i>Localiser deviation</i>
23	<i>Marker beacon passage</i>
24	<i>Master warning</i>
25	<i>NAV 1 and NAV 2 frequency selection</i>
26	<i>DME 1 and DME 2 distance</i>
27	<i>Landing gear squat switch status</i>
28	<i>Ground proximity warning system</i>
29	<i>Angle of attack</i>
30	<i>Hydraulics, each system (low pressure)</i>
31	<i>Navigation data</i>
32	<i>Landing gear or gear selector position</i>

Extrait du JAR OPS 1 : paramètres à enregistrer –4/4

Appendix 1 to JAR-OPS 1.725

Flight data recorders - 3 - List of parameters to be recorded

Table A - Aeroplanes with a maximum certificated take-off mass of over 5700 Kg

No	Parameter
1	<i>Time or relative time count</i>
2	<i>Pressure altitude</i>
3	<i>Indicated Airspeed</i>
4	<i>Heading</i>
5	<i>Normal Acceleration</i>

Table B - Additional parameters for aeroplanes with a maximum certificated take-off mass of over 27000 kg

No	Parameter
6	<i>Pitch attitude</i>
7	<i>Roll attitude</i>
8	<i>Manual radio transmission keying unless an alternate means to synchronise the FDR and CVR recordings is provided</i>
9	<i>Power on each engine</i>
10	<i>Trailing edge flap or cockpit control selection</i>
11	<i>Leading edge flap or cockpit control selection</i>
12	<i>Thrust reverse position (for turbojet aeroplanes only)</i>
13	<i>Ground spoiler position and/or speed brake selection</i>
14	<i>Outside air temperature or Total air temperature</i>
15a	<i>Autopilot engagement status</i>
15b	<i>Autopilot operating modes, autothrottle and AFCS, systems engagement status and operating modes.</i>
16	<i>Longitudinal acceleration</i>
17	<i>Lateral acceleration</i>
18	<i>Primary flight controls - Control surface position and/or pilot input (pitch, roll and yaw)</i>
19	<i>Pitch trim position</i>
20	<i>Radio altitude</i>
21	<i>Glide path deviation</i>
22	<i>Localiser deviation</i>
23	<i>Marker beacon passage</i>
24	<i>Master warning</i>
25	<i>NAV 1 and NAV 2 frequency selection</i>
26	<i>DME 1 and DME 2 distance</i>
27	<i>Landing gear squat switch status</i>
28	<i>Ground proximity warning system</i>
29	<i>Angle of attack</i>
30	<i>Hydraulics, each system (low pressure)</i>
31	<i>Navigation data (latitude, longitude, ground speed and drift angle)</i>
32	<i>Landing gear or gear selector position</i>

Extraits de l'OPS 1 (arrêté du 12 mai 1997) : paramètres à enregistrer

Cet extrait de l'arrêté OPS 1 donne un exemple des critères qui permettent d'évaluer la qualité d'enregistrement des paramètres.

EXPL 04.03-100
00 06 15

Annexe à l'instruction du 12 mai 1997

TABLEAU A - PARAMETRES A ENREGISTRER

Appendice 1 à l'AMC OPS 1.720(c) / 1.725(c)
Voir AMC OPS 1.720(c) / 1.725(c)

Série N°	Paramètre	Plage	Intervalle échantillonnage (secondes)	limites de précision (entrée senseur / lecture enregistrateur)	Résolution recommandée en lecture	Remarques
1	Temps	24 heures	4	$\pm 0,125\%$ par heure	1 seconde	Le temps UTC est préféré lorsque disponible, à défaut temps écoulé
2	Altitude pression	- 1000 ft à l'altitude max. certifiée de l'aéronef + 5 000 ft	1	± 100 ft à ± 700 ft	5 ft	Pour les enregistrements de l'altitude voir le JTSO C124 (actuellement en préparation)
3	Vitesse air indiquée (IAS)	50 ft à Vso maxi. Vso maxi à 1,2 Vd	1	$\pm 5\%$ $\pm 3\%$	1 kt	Vso : vitesse de décrochage ou vitesse minimale en vol stabilisé en configuration atterrissage Vd : vitesse de calcul en descente
4	Cap	360°	1	$\pm 2^{\circ}$	0,5°	
5	Accélération normale	-3g à +6g	0,125 =	$0,125 \pm 1\%$ de la plage maximale à l'exclusion de l'erreur de référence de $\pm 5\%$	0,04g	
6	Assiette en largage	$\pm 75^{\circ}$	1	$\pm 2^{\circ}$	0,5°	
7	Assiette en roulis	$\pm 180^{\circ}$	1	$\pm 2^{\circ}$	0,5°	
8	Sélection manuelle des transmissions radio	discret	1	-	-	
9	Régime sur chaque moteur	Toute la plage	chaque moteur chaque sec.	$\pm 2\%$	0,2% de la plage complète	Suffisamment de paramètres, par exemple EP/N1 ou couple/Np, appropriés au moteur particulier devraient être enregistrés pour déterminer le régime
10	Volts de bord de fuite ou position de la commande en poste	Plage complète ou chaque repère de position	2	$\pm 5\%$ ou comme l'indicateur du pilote	0,5% de la plage complète	
11	Becs de bord d'attaque ou position de la commande en poste	Plage complète ou chaque repère de position	2	-	0,5 % de la plage complète	
12	Position des inverseurs de poussée	Effacés, en mouvement, déployé	chaque inv. chaque sec.	$\pm 2\%$ à moins qu'une meilleure précision ne soit exceptionnellement exigée	-	Pour les avions à réaction uniquement
13	Sélection des déporteurs sol et/ou des aérotoilets	Plage complète ou position discrète	1	$\pm 2^{\circ}$	0,2 % de la plage complète	
14	Température air extérieur (OAT)	Plage du détecteur	2	-	0,3°	
15	Mode et état d'engagement du P.A., des commandes de vol automatique	Combinaison convenable d'événements	1	-	-	



Série N°	Paramètre	Plage	Intervalle échantillonage (secondes)	Limites de précision (entrée senseur / lecture enregistreur)	Résolution recommandée en lecture	Remarques
16	Accélération longitudinale	$\pm 1g$	0,25	$\pm 1,5\%$ de la plage maximale à l'exclusion de l'erreur de référence de $\pm 5\%$	0,004g	
17	Accélération latérale	$\pm 1g$	0,25	$\pm 1,5\%$ de la plage maximale à l'exclusion de l'erreur de référence de $\pm 5\%$	0,004g	
18	Commandes de vol principales. Positions des gouvernes et/ou action du pilote (tangage, roulis, lacet)	plage complète	1	$\pm 2^\circ$ à moins qu'une meilleure précision ne soit exigée	0,2% de la plage complète	Pour les avions avec des systèmes de commande conventionnels. Pour les avions avec des systèmes de commande non mécaniques. Pour les avions avec des surfaces séparées une combinaison adéquate des entrées est acceptable au lieu d'enregistrer chaque surface séparément
19	Position du compensateur en tangage	Plage complète	1	$\pm 3\%$ à moins qu'une meilleure précision ne soit exigée	0,3 % de la plage complète	
20	Indication du radaltimètre	de - 20 ft à + 2500 ft	1	± 2 ft ou $\pm 3\%$, le plus grand des deux, en dessous de 500 ft et $\pm 5\%$ au-dessus de 500 ft	1 ft en dessous de 500 ft, 1 ft + 0,5 % de la plage complète au-dessus de 500 ft	Comme installé. Les limites de précision sont recommandées
21	Ecart d'alignement de descente	plage du signal	1	$\pm 3\%$	0,3% de la plage complète	Comme installé. Les limites de précision sont recommandées
22	Ecart d'alignement de piste	plage du signal	1	$\pm 3\%$	0,3% de la plage complète	Comme installé. Les limites de précision sont recommandées
23	Franchissement de la radioborne	discrète	1	-	-	Un seul repère est acceptable pour toutes les bornes
24	Avertisseur principal	discrète	1	-	-	Lorsque possible
25	Choix de fréquence NAV1 et 2	plage complète	4	comme installé	-	Lorsque possible. L'enregistrement de la latitude et de la longitude à partir du système INS ou d'autres systèmes de navigation est une meilleure alternative
26	Distance DME = 12	0...200 NM	4	comme installé	-	
27	Etat du micro contact de train d'atterrisseage	discrète	1	-	-	
28	Alarme àvertisseur de proximité du sol	discrète	1	comme installé	-	
29	Angle d'incidence	Plage complète	0,5	comme installé	0,3% de la plage complète	Lorsque possible
30	Hydraulique	discrète(s)	2	-	-	Chaque système basse pression
31	Données de navigation	Comme installé	1	comme installé	-	Lorsque possible - latitude, longitude, vitesse sol et angle de dérive
32	Position de train d'atterrisseage ou de commande de train	discrète	4	comme installé	-	

EXPLOITANTS AYANT PARTICIPE A L'ETUDE

- Aero Service Corporate
- Aero Service Executive
- Aigle Azur
- Air Atlantique
- Air France
- Air Littoral
- Air Lib
- Air Méditerranée
- Alsair
- Brit Air
- CCM
- Chalair
- Champagne Airlines
- Corsair
- Dassault Falcon Services
- Europe Airpost
- Leadair Unijet
- Occitania
- Régional Airlines
- Star Airlines

Références

- BEA, rapport sur l'accident survenu le 20 janvier 1992 à l'Airbus A320 F-GGED près du Mont Sainte-Odile (Bas-Rhin)
- CAA Safety Regulation Group, CAP 731, Approval, Operational Serviceability and Readout of Flight Data Recorder Systems
- Civil Aviation Safety Authority Australia, CAAP 42L-4(0), Flight Data Recorder maintenance
- EUROCAE ED 112 Minimum Operational Performance Specification for Crash Protected Airborne Recorder Systems, EUROCAE Bulletin n° 26, 31 mars 2003
- FAA Advisory Circular 20-141, Airworthiness and Operational Approval of Digital Flight Data Recorder Systems
- JAR OPS 1, Joint Aviation Requirements, Commercial Air Transportation (Aeroplanes), 1^{er} mars 1998
- OPS 1, arrêté du 12 mai 1997 relatif aux conditions techniques d'exploitation d'avions par une entreprise de transport aérien public
- OACI, Annexe 6 à la Convention relative à l'aviation civile internationale, Exploitation technique des aéronefs, première partie, Aviation de transport commercial international, Avions, huitième édition, juillet 2001

BUREAU D'ENQUETES ET D'ANALYSES
POUR LA SECURITE DE L'AVIATION CIVILE
Aéroport du Bourget - Bâtiment 153
93352 Le Bourget Cedex
FRANCE
Tél. : +33 1 49 92 72 00
Fax : +33 1 49 92 72 03
com@bea-fr.org

www.bea.aero / www.bea-fr.org

