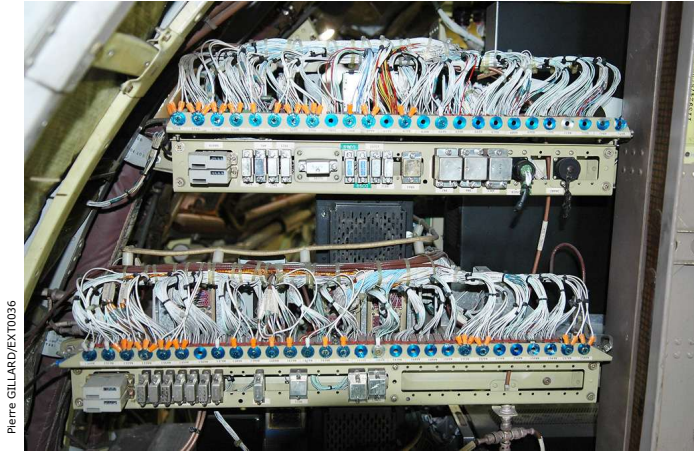




Conducteurs utilisés à bord des avions

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

1

Avant de débiter le cours ...



Merci !

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

2

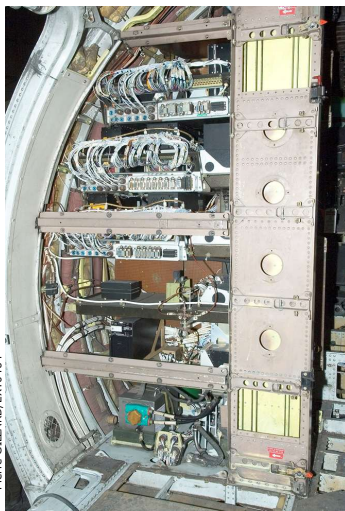
Présentation du cours



Pierre GILLARD/EXTD593

- Introduction.
- Calibre des conducteurs.
- Types de conducteurs.
- Vieillessement des isolants.
- Autres dangers.
- Conclusions.

Introduction



Pierre GILLARD/EXTD464

- Les fils électriques sont dans un aéronef ce que les vaisseaux sanguins sont à l' homme .
- Il peuvent servir à transporter de l'énergie électrique de forte puissance (génération et distribution) ou de faible puissance (signaux de commandes ou discrets).
- Le courant parcourant les fils peut être continu , alternatif à 400 Hz ou encore être un signal audio , RF , etc.
- Pour chaque application , il faut déterminer quel fil répond le mieux aux critères techniques et réglementaires spécifiques à cette application.

Calibres des conducteurs

- En aviation, on se référera en général au Standard American Wire Gauge (AWG).
- Les sections des conducteurs sont identifiées par des chiffres croissant avec la diminution de la section.
- Ils sont toujours pairs à l'exception de l'AWG 1 et supérieurs (AWG 0, AWG 00, etc.)
- En général, en câblage aéronautique, on ne descendra jamais en dessous de l'AWG 26.

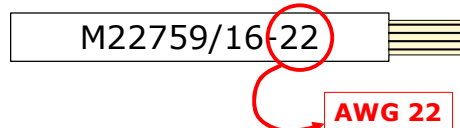
Section (calibre)



Calibres des conducteurs

Mesure de la section d'un conducteur

- Dénuder le fil (sans couper de brins !)
- Insérer le conducteur nu dans l'ouverture et pas dans le trou (principe « passe/passe pas »).
- En aviation, tous les fils électriques sont généralement clairement identifiés (standard militaire et section AWG).

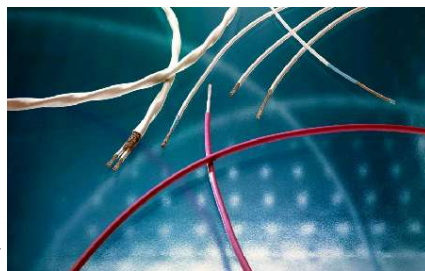


Calibres des conducteurs

Correspondance entre les sections de conducteurs

Numéro de jauge AWG	Diamètre du fil nu		Section	
	mm	mils	mm ²	cmils
0000	11.70	460	107.4	212000
00	9.27	365	67.4	133000
0	8.26	325	53.5	105600
1	7.35	289	42.4	87700
2	6.54	258	33.6	66400
4	5.18	204	21.1	41600
6	4.11	162	13.3	26240
8	3.25	128	8.27	16380
10	2.59	102	5.27	10400
12	2.05	80.8	3.31	6530
14	1.63	64.1	2.08	4110
16	1.29	50.8	1.31	2580
18	1.02	40.3	0.821	1620
20	0.81	32	0.517	1020
22	0.64	25.3	0.324	640
24	0.51	20.1	0.205	404

Types de conducteurs

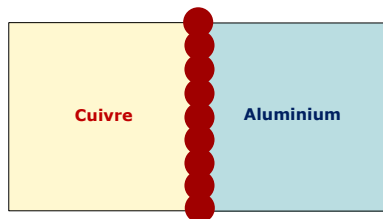


Tyco

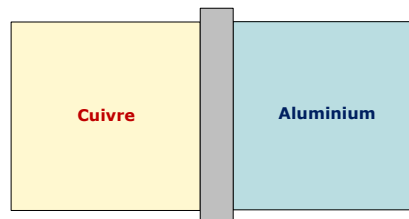
- Il existe principalement deux types de conducteurs utilisés à bord des aéronefs :

- Conducteurs en **cuivre**.
- Conducteurs en **aluminium**.

- L'aluminium et le cuivre sont incompatibles :



Apparition de corrosion galvanique
Mauvaise circulation du courant



Utilisation d'un matériau neutre
conducteur de l'électricité

Types de conducteurs

- L'étape suivante consiste à choisir l'isolant.
- Deux matériaux sont couramment utilisés pour l'isolation des conducteurs utilisés en aéronautique :
 - Le Kapton.
 - Le Teflon.
- L'accident du MD11 vol SR111 de Swissair au large de Peggys Cove, NS, le 2 septembre 1998 a mis en lumière au grand public les problèmes liés aux matériaux isolants des conducteurs électriques utilisés en aviation.
- Toutefois, depuis longtemps, l'industrie était au courant des problèmes liés à l'usage de certains isolants, le Kapton, notamment.
- Ceci sera discuté plus loin dans ce cours.

Types de conducteurs

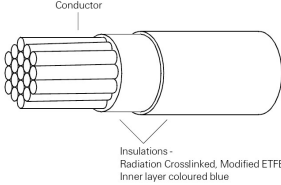
- Les principaux isolants des conducteurs utilisés en aviation :

Isolation :	Spécifications :	Applications :
Quad 4-PVC/Nylon	MIL-W-5086	DC-9 (avant 1979), 727 et 737 (avant 1976)
Kynar	MIL-W-81044/9	DC-9 (entre 1970 et 1976)
Kapton	MIL-W-81381	Pratiquement tous les avions commerciaux jusqu'à récemment.
Teflon-PTFE	22759/11	747, BAe 146, plus utilisé par les constructeurs après 1983
Poly-X	MIL-W-81044/16-29	Anciens 747 et DC-10
Stilan	MIL-W-81044/20	747 et DC-10 (fin des années 1970)
Tefzel-ETFE		Aviation générale et certaines applications en aviation commerciale
PVDF	MIL-W-81044/6 Spec 44	Aviation générale et certaines applications en aviation commerciale
Cross-Linked Tefzel (XL-ETFE)	MIL-W-22759/34 Spec 55/55A	Beaucoup d'avions actuels : Airbus, Boeing, Bombardier, etc.
TKT-Teflon-Kapton-Teflon	MIL-W-22759/80-92 EN2267-08	Airbus et Boeing utilisent des variantes différentes

ENN ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLEGE EDUARD MONTFETIT

Types de conducteurs

- Les conducteurs utilisés en aviation peuvent avoir différentes formes :
 - Fils simples isolés :



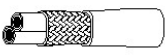
Conductor
Insulations - Radiation Crosslinked, Modified ETFE
Inner layer coloured blue

- Fils blindés :

Shielded (round braid), jacketed



Shielded (flat braid), jacketed



Raychem Spec 55

© Département d'avionique Document à des fins de formation

11

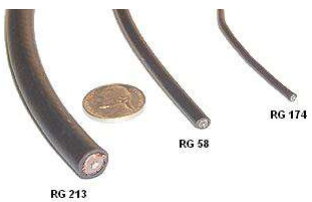
ENN ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLEGE EDUARD MONTFETIT

Types de conducteurs

- Les conducteurs utilisés en aviation peuvent avoir différentes formes :
 - Câbles coaxiaux :

Les câbles coaxiaux sont utilisés pour transporter les signaux RF





RG 213 RG 58 RG 174

© Département d'avionique Document à des fins de formation

12

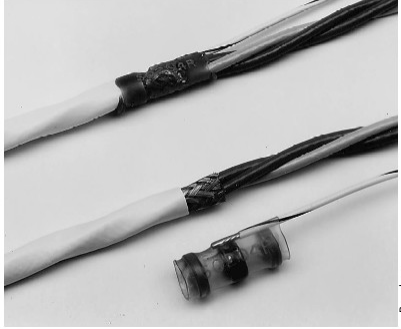


ENN ÉCOLE NATIONALE
D'AÉROTECHNIQUE
COLLEGE EDUARD MONTFETIT

Types de conducteurs

- Les conducteurs utilisés en aviation peuvent avoir différentes formes :
 - Accessoires de câblage :
 - Gaine thermorétractable (*Heat Shrink*).
 - Manchons thermiques (*Solder Sleeves*).
 - Gaine tressée.
 - Gaine étanche.
 - Terminaison étanche.
 - Etc.

Shield Termination
Solder Sleeve shield terminators



© Département d'avionique

Document à des fins de formation

13



ENN ÉCOLE NATIONALE
D'AÉROTECHNIQUE
COLLEGE EDUARD MONTFETIT

Types de conducteurs

- Les conducteurs utilisés en aviation peuvent avoir différentes formes :
 - Connectique :
 - Le choix de la connectique est intimement lié à l'usage et au type des conducteurs.




© Département d'avionique

Document à des fins de formation

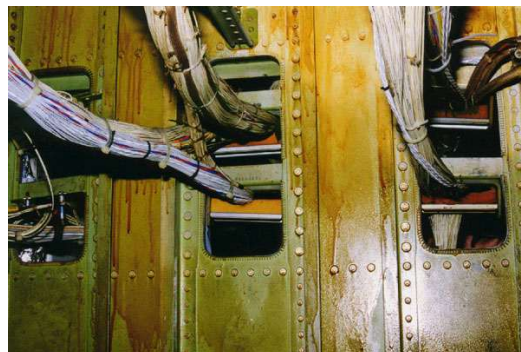
14

Vieillesse des isolants

- Un avion de transport commercial peut voler durant 20 ou 30 ans, parfois même plus.
- Si la majorité des composants principaux sont révisés ou remplacés lors des inspections de type C ou D, le câblage électrique reste inchangé.
- Les fils électriques, et surtout leur isolation, sont soumis au phénomène de vieillesse.
- Un isolant se dégrade, non seulement suite à l'action du temps, mais aussi à cause des contraintes de température et d'humidité, des contraintes mécaniques et de l'agression de certains fluides, liquides, poussières ou débris.
- Un isolant qui vieillit se fragilise et peut se rompre provoquant un danger d'incendie en cas de contact avec la masse de l'aéronef ou un conducteur voisin dans le même état.

Vieillesse des isolants

- Quelques exemples d'état de câblages dans des aéronefs plus anciens photographiés par les inspecteurs du NTSB :



Fluide anticorrosif dégoulinant sur les torons de fils

Copeaux de forage et contamination d'un toron sur un Airbus A300

Viellissement des isolants

- Quelques exemples d'état de câblages dans des aéronefs plus anciens photographiés par les inspecteurs du NTSB :



Copeaux de forage et contamination d'un toron sur un Boeing 747

Rappel : FODs !

Viellissement des isolants

- Quelques faits ...



In May 1990, a Boeing 737 operated by Philippine Air Lines exploded and burned on the ramp in Manila, Republic of the Philippines. Of the 119 persons on board, 8 were fatally injured. The investigation, conducted by the Philippine government with participation from the Safety Board, revealed that an ignition of a fuel-air mixture in the center fuel tank was the cause of the explosion and subsequent fire. A portion of the wiring that led to the center fuel tank float switch was found with the insulation compromised and the conductor exposed. The Safety Board issued an urgent recommendation to the FAA in August 1990 requesting an immediate inspection of the float switch wiring of all similar Boeing 737s. Unfortunately, the FAA, in May 1991, informed the Board that it did not believe this wiring failure contributed to the accident and did not plan to mandate an inspection. The Safety Board classified the recommendation "Closed - Unacceptable Action."

Viellissement des isolants

• Quelques faits ...



Justin CERDERHOLM

In March 1991, a Lockheed L-1011, operated by Delta Air Lines, experienced a fire in the passenger cabin while en route from Frankfurt, Germany, to Atlanta, Georgia, with 231 people on board. A flight attendant saw flames coming through the cabin floor near a row of passenger seats and discharged a fire extinguisher. The flightcrew declared an emergency and landed safely at Goose Bay, Canada.

The investigation, conducted by the Transportation Safety Board of Canada (TSB) with participation from the NTSB, revealed that the fire originated near a wire bundle routed below the cabin floor that had been routed with an extremely tight bend, which can crack wiring insulation. Some of the wires in this bundle showed evidence of electrical arcing. Nearby metallic debris found in the area included nail clippers and loose screws. Adjacent portions of the wire bundle were covered with a blanket of flammable lint and dust more than two inches high; some of this lint appears to have fed the fire. In August 1991, the Safety Board recommended that the FAA require specific inspections of wire bundles on transport category airplanes to ensure proper routing and the removal of flammable lint and dust accumulations. In October 1991, the FAA determined that the approved inspection criteria regarding wire bundle installations for Boeing and McDonnell Douglas aircraft were adequate. However, the FAA issued a handbook bulletin to principal maintenance inspectors to review their operators maintenance programs to ensure that they included inspection of aircraft wiring. Although in October 1992, the Safety Board classified the recommendation as "Closed - Acceptable Action," the results of other investigations that will be discussed later indicate that the FAA's actions did not effectively address the issue of removing contamination from wire bundles.

Viellissement des isolants

• Quelques faits ...



In April 1997, a Cessna 650 Citation operated as a corporate flight, caught fire while on approach to Buffalo, New York. While descending through 4,000 feet, the crew smelled smoke, then lost all radio communications. After landing, ground personnel saw flames burning through the fuselage. The flightcrew and passenger exited safely, but the airplane was substantially damaged. The Safety Board's investigation revealed that the fire started when contact between electrical wiring and a hydraulic line caused the ignition of hydraulic fluid. FAA guidelines state that under no circumstances should electrical wiring be routed within ½ inch of a hydraulic line, and any wiring routed within two inches of a hydraulic line should have clamps installed to ensure positive separation. However, design drawings for the Cessna 650 specified ½ inch of clearance and did not require clamps to ensure separation. Following the Safety Board's findings, the FAA issued an airworthiness directive in May 1997, to mandate the installation of clamps to ensure positive separation.

Viellissement des isolants

• Quelques faits ...



Pierre GILLARD

During the course of the Cessna Citation investigation, the Safety Board learned of three Boeing 767 events in which safety hazards were created because wiring was not routed with appropriate clearance from adjacent components. In two of the events, flight control cables failed when they rubbed against electrical wiring resulting in arcing, and in the other case, a cockpit fire hazard was created when electrical wiring arced to an oxygen line in the cockpit. Based on the Cessna 650 accident and the Boeing 767 events, in January 1998, the Safety Board issued recommendations requesting that the FAA review the design, manufacturing, and inspection procedures of all aircraft manufacturers to ensure that adequate clearance, in accordance with published FAA guidelines, is specified around all electrical wiring.

Although a March 1998 response indicated FAA agreement with the intent of these recommendations, a June 1999 letter indicated that FAA found that manufacturers were in compliance with the intent of the published guidelines. This response was not consistent with the Safety Board's findings as detailed in the recommendation letter and the recommendations are currently in an "Open" classification.

Viellissement des isolants

Étude de cas : TWA 800



NTSB

- 17 juillet 1996.
- Boeing 747-131.
- Vol TWA 800 JFK-CDG.
- Explosion du réservoir central en vol au large de Long Island, NY.
- 230 morts.

• Extrait du rapport du NTSB (AAR0003) :

3.2 Probable Cause

The National Transportation Safety Board determines that the probable cause of the TWA flight 800 accident was an explosion of the center wing fuel tank (CWT), resulting from ignition of the flammable fuel/air mixture in the tank. The source of ignition energy for the explosion could not be determined with certainty, but, of the sources evaluated by the investigation, the most likely was a short circuit outside of the CWT that allowed excessive voltage to enter it through electrical wiring associated with the fuel quantity indication system.

Viellissement des isolants

Étude de cas : TWA 800



NTSB

- Un toron de fils basse tension entre en contact avec plusieurs fils haute tension.
- Les fils touchent la structure de l'avion.

- Les fils basse tension aboutissent au système de mesure du niveau de carburant dans le réservoir central.



NTSB

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

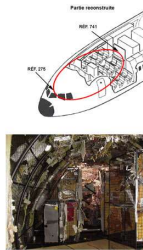
23

Viellissement des isolants

Étude de cas : SR 111



TSB



- 2 septembre 1998.
- Mc Donnell Douglas MD11.
- Vol Swissair SR111 JFK-ZRH.
- Incendie généralisé en vol suite à un court-circuit dans le câblage du système IFE.
- 229 morts.

- Extrait du rapport du TSB (A98H0003) :

3.1 Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

5. Les disjoncteurs utilisés dans l'avion étaient similaires à ceux qui sont utilisés en général en aviation et ils n'étaient pas en mesure d'offrir une protection contre tous les types d'amorçage d'arc. L'incendie s'est fort probablement déclaré à la suite d'un amorçage d'arc.
6. Un morceau de câble (1-3791) de bloc d'alimentation du réseau de divertissement de bord (RDB) présentait une zone de cuivre resolidifié sur un fil à la suite d'un amorçage d'arc. On a déterminé que cette zone se trouvait près de la référence de construction 383, à l'endroit où l'incendie s'est fort probablement déclaré. Cet amorçage d'arc est probablement associé au déclenchement de l'incendie; par contre, il n'a pas été possible de déterminer si le fil ayant subi l'amorçage d'arc a été l'élément déclencheur de l'incendie.

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

24

ÉNN ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE EDOUARD MONTFETIT

Vieillessement des isolants

Étude de cas : SR 111

- Court-circuit dans l'alimentation du système IFE :

Images : TSB

© Département d'avionique Document à des fins de formation

25

ÉNN ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE EDOUARD MONTFETIT

Vieillessement des isolants

Étude de cas : SR 111

- État des fils :

Pièce produite 1-12609, fil de calibre 24 AWG (grossissement x19)

Pièce produite 1-3796, fil de calibre 16 AWG (échelle en millimètres)

Pièce produite 1-14723, venant du câble d'alimentation de calibre 12 AWG du RDB (grossissement x22)

Pièce produite 1-3029, venant du câble d'alimentation de calibre 10 AWG du bus c.a. de secours de gauche (grossissement x10)

TSB

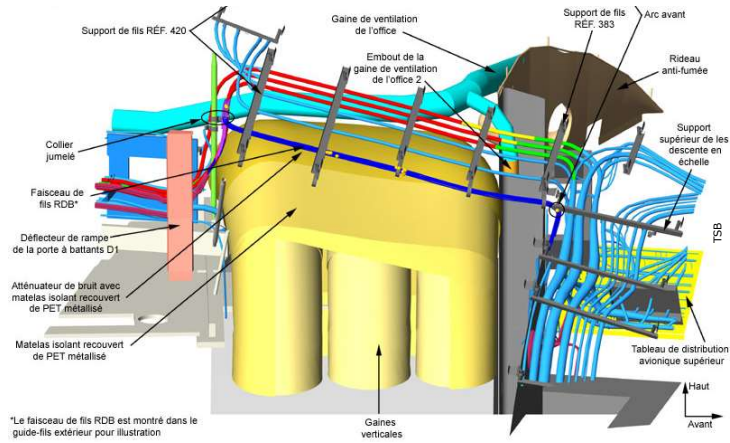
© Département d'avionique Document à des fins de formation

26

Vieillesse des isolants

Étude de cas : SR 111

• Propagation de l'incendie par des matériaux isolants :



© Département d'avionique

Document à des fins de formation

27

Autres dangers

Étude de cas : MD-80

- Un arc électrique est apparu dans l'EPC-Electrical Power Center.
- Des dégâts ont été causés au cockpit et un inspecteur se trouvant sur le strapontin (Jumpseat) a été brûlé.
- L'arc a été causé par une vis qui a endommagé un fil en pénétrant dans l'EPC.



© Département d'avionique

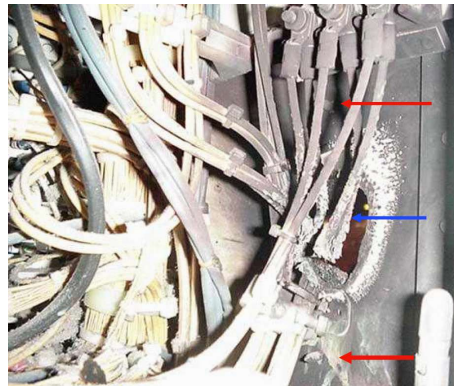
Document à des fins de formation

28

Autres dangers

Étude de cas : MD-80

- Un arc électrique est apparu dans l'EPC-Electrical Power Center.
- Des dégâts ont été causés au cockpit et un inspecteur se trouvant sur le strapontin (Jumpseat) a été brûlé.
- L'arc a été causé par une vis qui a endommagé un fil en pénétrant dans l'EPC.



Autres dangers

FODs

Blessures (*Chafing*)

Toute action pouvant causer un court-circuit

- Il est donc important de respecter toutes les techniques de montage et de réparation définies par :
 - Les manufacturiers : SPM, AMM, SBs, etc.
 - Les réglementations : RAC, FAR, EASA, etc.
 - L'AC 25-16 (Electrical Fault & Fire Prevention and Protection).
 - L'AC 43.13.

Alertes aux difficultés en service

Autres dangers

Chercher l'erreur ...

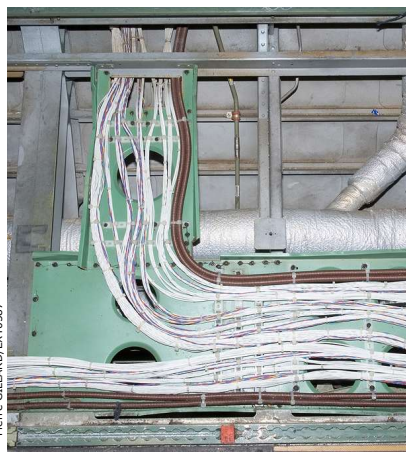


© Département d'avionique

Document à des fins de formation

31

Conclusions



- Le choix d'un type de conducteur ainsi que son calibre répondent à des exigences bien définies.
- En l'absence d'instruction du fabricant, c'est l'AC43.13 qui fait office de référence pour le choix des conducteurs.
- Les isolants des conducteurs doivent demeurer propres et en bon état durant toute la vie de l'aéronef.

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

32



Pierre GILLARD/EXT0485

Merci de votre attention