

# 04 – Fils, câbles et coupe-circuits

## 04.1 Caractéristiques du fil électrique

Plusieurs facteurs sont à considérer lors du choix d'un fil électrique pour une application particulière. Par exemple, la température d'opération, la flexibilité, la résistance à l'abrasion, la force, la résistance électrique, le poids, l'isolation électrique, la tension appliquée et le courant prévu. La plupart des fils électriques utilisés en aviation sont des fils de cuivre multibrin (toronné). La figure suivante montre un fil de cuivre de ce type :



Figure 1 - Fil de cuivre toronné. Scott Ehardt,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=422790>

L'utilisation de fils de cuivre multibrin augmente la flexibilité du câble, réduisant ainsi la fatigue mécanique due à la vibration. Plus il y a de brins dans le fil, plus celui-ci est flexible. Pour prévenir l'oxydation, protéger des températures extrêmes et pour faciliter la soudure, les brins sont normalement plaqués d'étain, d'argent ou de nickel, selon la température maximale ou ils seront exposés. Pour certaines applications à des basses températures (105°C), il est possible d'utiliser des fils d'aluminium, beaucoup plus légers. La figure suivante montre un fil plaqué d'étain :



Figure 2 – Fil de cuivre plaqué d'étain.  
<https://www.aircraftspruce.ca/catalog/pnpages/11-14524.php>

Un conducteur électrique simple entouré d'un isolant est appelé **fil électrique**. Lorsque deux ou plusieurs fils sont joints dans une enveloppe isolante, ils forment un **câble électrique**.

Les fils et câbles électriques peuvent être installés dans des tubes, appelés **conduits**, ou encore en utilisant des techniques sans conduits, appelées **câblage ouvert**.

## 04.2 Systèmes électriques unifilaires

Dans les circuits électriques que nous avons vu jusqu'à présent, la source est reliée à la charge (résistance) en une maille continue en utilisant un fil électrique les reliant, tel que le circuit de la Figure 3 a).

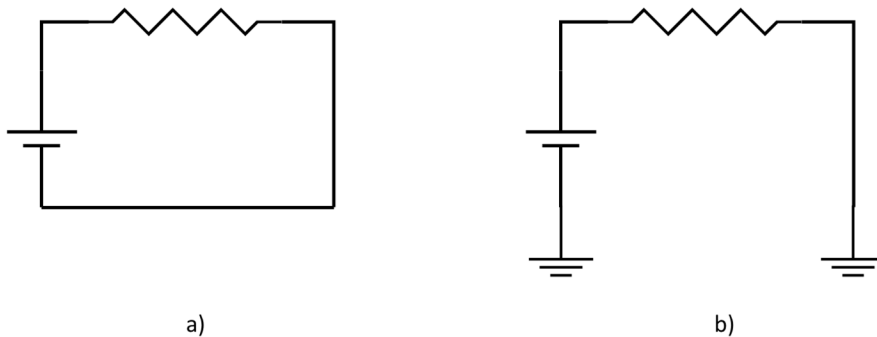


Figure 3 - Système électrique multifilaire a) et unifilaire b).

Puisque la plupart des avions sont construits en métal, il est possible d'utiliser la structure métallique comme un conducteur électrique. Dans ce cas, on se sert de la structure pour brancher toutes les connexions négatives des systèmes. Les systèmes ainsi connectés sont appelés **mis à la terre**, comme montré à la Figure 3 b). Dans une telle installation, il est important que toutes les parties métalliques de la structure soient bien liées électriquement pour permettre au courant électrique de circuler librement dans toute la structure.

L'utilisation de la structure de l'avion pour faire circuler le courant permet des économies d'espace et de poids considérables sur les grands aéronefs.

## 04.3 Choix du fil électrique

Plusieurs facteurs influencent le choix d'un fil électrique pour une application donnée. Premièrement, quelques définitions :

### Calibre du fil

Le calibre du fil électrique est déterminé selon son diamètre et est indiqué en AWG (American Wire Gauge). Plus la valeur est élevée, plus le diamètre du fil est petit. Les valeurs vont de 0000, d'un diamètre de 11,7 mm, à 40, d'un diamètre de 0,0799 mm. La figure suivante montre un gabarit pour mesurer le calibre d'un fil électrique.



Figure 4 - Gabarit de mesure de fil électrique - <http://www.insizeus.com>

En termes de transport de charges électriques, le calibre du fil affecte deux critères à respecter, soient la capacité de transporter le courant sans surchauffer, et la baisse minimale de la tension électrique lors du transport de ce courant. Nous avons jusqu'à présent ignoré la résistance présente dans les fils électriques. Cependant, cette résistance, quoique très petite, doit être considérée puisqu'elle fait abaisser la tension du courant qui circule sur le fil. Si cette baisse est trop grande, l'équipement qui dépend d'une tension précise risque de ne plus fonctionner correctement. Pour faciliter la sélection du calibre de fil, une charte peut être utilisée pour tenir compte de ces deux facteurs. Par exemple, le tableau de la Figure 5 permet de déterminer le calibre d'un fil de cuivre (MIL-W-27759). La partie (a) s'applique pour les opérations continues, et la partie (b) pour les opérations intermittentes (moins de 2 minutes), comme l'opération du moteur des volets.

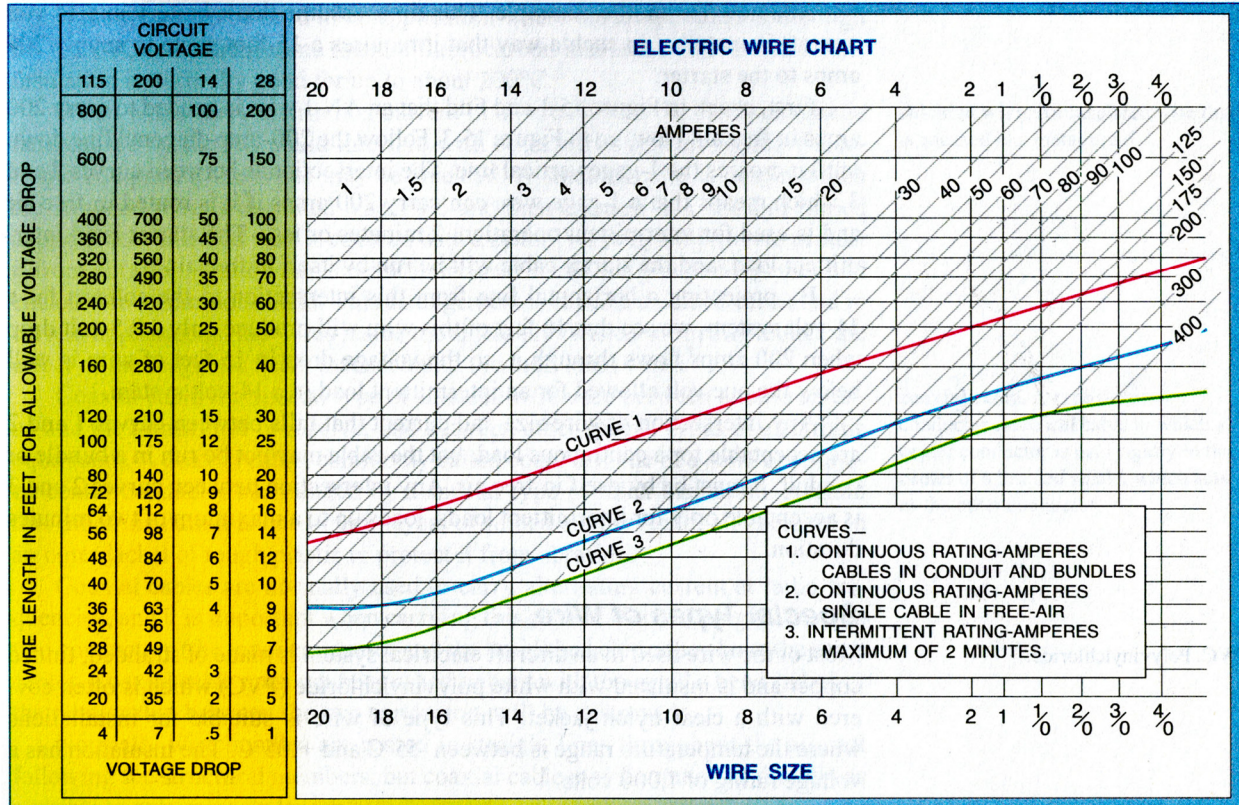


Figure 5 - Charte de sélection du calibre d'un fil de cuivre - Crane

**Exemple**

Quel est le calibre approprié pour un fil électrique qui doit être installé dans un système opérant à 28V, sachant que le fil doit avoir une longueur de 12 pieds et doit pouvoir transporter jusqu'à 20 ampères de courant en continu?

En utilisant le tableau, on trouve la colonne pour les systèmes à 28V à gauche. On trouve ensuite la longueur du fil (12 pieds) dans cette colonne. En suivant la ligne horizontale, on se déplace à droite jusqu'à l'intersection avec la diagonale qui représente le courant de 20 ampères. À cet endroit, on descend pour se retrouver entre 16 et 14. On choisit le fil le plus gros, donc de calibre **14**.

Remarquez que le point trouvé se trouve entre la courbe 1 et 2. Ceci implique que le fil ne pourra pas se retrouver dans un assemblage (câble) ou un conduit électrique. Il devra être installé seul.

Dans l'utilisation de ce tableau, soyez conservateur. Lorsque vous tombez entre deux valeurs, choisissez celle qui mènera à un calibre plus gros, soit celle qui est plus sécuritaire.

Les fils d'aluminium peuvent généralement être utilisés pour remplacer les fils de cuivre. Cependant, parce qu'ils ont une capacité moindre à transporter le courant pour la même dimension de fil, il est nécessaire de choisir un fil plus gros (normalement 2 grandeurs de plus). Quoique plus volumineux, l'aluminium sera beaucoup plus léger. Par exemple, ces deux fils sont presque équivalents en termes de capacité de courant, mais celui en aluminium est presque 2 fois plus léger.



| Matériel  | Calibre | Courant maximal continu @ 105°C (Ampères) | Poids / 1000ft (livres) |
|-----------|---------|---|-------------------------|
| Cuivre    | 0       | 128                                       | 382                     |
| Aluminium | 00      | 117                                       | 204                     |

## 04.4 Liaison équipotentielle et blindage électromagnétique

La **liaison équipotentielle** consiste à connecter ensemble toutes les parties métalliques d'un avion pour qu'elles forment une seule connexion électrique. Le but est d'obtenir un chemin de faible résistance électrique entre toute partie de la structure à n'importe quelle autre. La liaison équipotentielle est utilisée dans les systèmes monofilaires, ou la structure est aussi connectée aux bornes négatives des batteries et des alternateurs. Elle aide aussi à réduire l'interférence des ondes radio, le dommage créé par la foudre et l'accumulation de charges statiques dans la structure. Une tresse de mise à la masse est utilisée pour relier ensemble des pièces mobiles (par exemple pour relier les volets aux ailes). Ces tresses doivent être aussi courtes que possible et doivent avoir une résistance très faible (pas plus de 0.003  $\Omega$ ). N'oubliez pas d'inspecter ces éléments fréquemment.



Figure 6 - Tresse de liaison - The Brillman Company

Le **blindage électromagnétique** est le processus par lequel on applique un recouvrement métallique sur les fils et sur l'équipement, pour les protéger de l'interférence électromagnétique (IEM). L'IEM est causée lorsque des champs électromagnétiques (ondes radio) induisent des changements de voltage non désirés dans un fil ou un système. Ces interférences peuvent empêcher l'équipement de bien fonctionner et peuvent même provoquer des pannes. Le blindage électromagnétique aide à dissiper l'IEM en protégeant le conducteur principal avec un conducteur externe, appelé le **blindage**. Ce blindage est mis à la masse de l'avion et dissipe les charges qui y sont induites. De plus, le blindage sert aussi à éliminer l'interférence créée par le fil lui-même. Le fait de protéger un système de l'interférence causée par un autre se nomme la compatibilité électromagnétique (CEM).

## 04.5 Coupe-circuits

Imaginez ce scénario. En plein vol dans des conditions turbulentes, la connexion d'un fil sur une ampoule se détache et est maintenant en contact avec la structure de l'avion. Il y a maintenant un **court-circuit** puisque le courant provenant de la batterie retourne directement à la masse (borne négative de la batterie). Puisque la résistance est très faible, le courant dans le fil sera très élevé. La batterie risque de se décharger. Pire encore, le fil va surchauffer et risque de prendre feu!

Ouf! Pour prévenir ce type de scénario, on insère des dispositifs dans les circuits qui couperont l'alimentation de ce circuit lorsqu'un courant trop élevé est détecté.

## Les fusibles

Les fusibles protègent les circuits électriques depuis longtemps. Ils sont constitués d'une bande de métal ayant un point de fusion très précis. Ils sont placés en série dans le circuit de manière que tout le courant qui passe par le circuit doit nécessairement passer par le fusible. Lorsque le courant excède la limite imposée par le fusible, la bande de métal surchauffe, fond, et se brise, ouvrant ainsi le circuit. Dans cette situation, le fusible doit être remplacé.

Pour cette raison, les fusibles sont de moins en moins utilisés en aviation, car leur remplacement requiert que l'attention du pilote soit détournée des tâches du pilotage. Néanmoins, les Règlements de l'Aviation Canadiens (RAC) exigent toujours qu'un nombre suffisant de fusibles de rechanges soient disponible en vol (50% pour chaque type, ou un, au minimum).

## Les coupe-circuits

Les coupe-circuits jouent le même rôle que les fusibles. Cependant, une fois que le problème a été identifié et corrigé, ils peuvent être remis en fonction en plein vol. La plupart fonctionnent en utilisant une bande métallique qui se déforme selon la quantité de courant qui la parcourt. Si le courant dépasse la limite, le coupe-circuit se déclenche et ouvre le circuit. Une fois le problème réglé, le coupe-circuit peut être remis en fonction. Le coupe-circuit doit empêcher sa remise en fonction si le courant excessif est toujours présent. La plupart des coupe-circuits ont un bouton poussoir qui sort du boîtier lorsque le coupe-circuit se déclenche. Ces coupe-circuits sont remis en fonction en poussant sur le bouton. Les circuits connectés sur ce type de court-circuit doivent être munis d'un interrupteur pour allumer et éteindre le circuit, puisque le coupe-circuit ne doit pas être utilisé à cette fin. En revanche, certains coupe-circuit sont conçus pour être aussi utilisés comme interrupteur, tel celui de droite à la Figure 8.

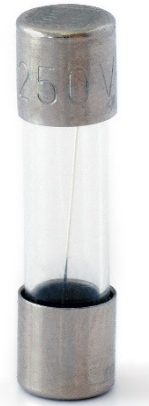


Figure 7 - Fusible -  
Par André Karwath  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=124710>



Figure 8 - Coupe-circuits Tyco - [aircraftspruce.ca](http://aircraftspruce.ca)

Les symboles utilisés pour les fusibles et les coupe-circuits sont les suivants.

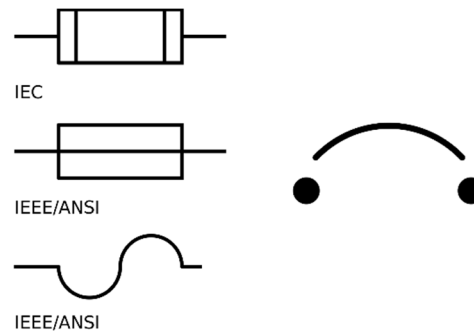


Figure 9 - Symboles pour les fusibles (gauche) et coupe-circuits (droite).

Les fusibles et les coupe-circuits servent principalement à protéger les fils électriques. Ils doivent être placés le plus près possible de la barre omnibus (barre de distribution de courant). Ils sont normalement installés derrière le panneau d'instrument, et les boutons poussoirs sont accessibles dans le cockpit. Puisqu'ils protègent les fils électriques, le choix en ampérage du coupe-circuit se fait selon le calibre du fil, et non de la consommation électrique de l'équipement dans le circuit.

# Exercices

1. Le calibre du fil électrique utilisé en aviation est mesuré selon quel système?
2. Un fil doit être capable de transporter le \_\_\_\_\_ sans surchauffer et brûler.
3. Un circuit qui opère en continu est un circuit qui transporte du courant pour une période de plus de \_\_\_\_\_.
4. Comment s'appelle le processus selon lequel on connecte toutes les parties métalliques de l'avion ensemble?
5. Comment se nomme la pièce métallique qu'on attache sur deux parties de la structure de l'avion pour que le courant y circule librement?
6. Quelles sont les 2 utilités du blindage?
7. Pourquoi est-ce que le fil de cuivre utilisé en aviation est plaqué d'étain, d'argent ou de nickel?

*\*\*\* Pour les 3 questions suivantes, utilisez la Figure 5. \*\*\**

8. Quel est le calibre approprié pour un fil électrique qui doit être installé dans un système opérant à 28V, sachant que le fil doit avoir une longueur de 30 pieds et doit pouvoir transporter jusqu'à 12.5 ampères de courant en continu?
9. Quel est le calibre approprié pour un fil électrique qui doit être installé dans un système opérant à 115V, sachant que le fil doit avoir une longueur de 100 pieds et doit pouvoir alimenter un circuit qui utilise 1150W en continu?
10. Quel est le calibre approprié pour un fil électrique qui doit être installé dans un système opérant à 28V, sachant que le fil doit avoir une longueur de 20 pieds et doit alimenter un circuit qui utilise 250W pendant 90 secondes?
11. Un \_\_\_\_\_ existe lorsqu'un contact accidentel entre des conducteurs permettent au courant de retourner à la batterie par un parcours de très faible résistance.
12. Qu'est-ce qui arrive lorsque le courant qui parcourt un fusible excède la capacité de celui-ci?
13. Qu'est-ce qui arrive lorsque le courant qui parcourt un coupe-circuit excède la capacité de celui-ci?
14. Un pilote constate qu'un fusible de 3A est brûlé. N'ayant pas de rechange de ce type, il vous demande s'il pourrait le remplacer par un fusible de 5A pour un seul vol. Que lui dites-vous?
15. Un pilote constate qu'un coupe-circuit de 3A est défectueux. N'ayant pas de rechange de ce type, il vous demande s'il pourrait le remplacer par un coupe-circuit de 2A pour un seul vol. Que lui dites-vous?



# Réponses

1. American Wire Gage (AWG).
2. Courant.
3. 2 minutes.
4. Liaison équipotentielle.
5. Tresse de liaison.
6. Protéger les fils et systèmes des interférences électromagnétiques (IEM), et empêcher ces mêmes fils et équipements d'émettre des ondes électromagnétiques (CEM).
7. Pour prévenir l'oxydation.
8. 12.
9. 14.
10. 20.
11. Court-circuit.
12. La bande métallique fond, se brise, et le circuit est coupé.
13. La bande métallique se déforme et déclenche le coupe-circuit, coupant ainsi le circuit.
14. Si une condition de court-circuit ou de courant excessif se présente, le fusible pourrait ne pas brûler avant que le fil ne surchauffe, émette de la fumée, ou encore prenne en feu. C'est une bien mauvaise idée.
15. Il est possible que l'équipement branché sur ce circuit demande jusqu'à 3A de courant. Dans ce cas, le coupe-circuit se déclenchera et l'équipement ne pourra plus fonctionner. C'est aussi une mauvaise idée.