TOP 10 DES ERREURS DE CÂBLAGE AVION – COMMENT LES ÉVITER

(Document de VerticalPower)

Au cours des dernières années, nous avons aidé des centaines de constructeurs à planifier, installer et dépanner le système électrique de leur avion. À travers tout cela, nous avons constaté que plusieurs erreurs courantes sont fréquemment commises – ce qui est tout à fait naturel lorsque l'on explore de nouveaux domaines.

Nous avons rédigé ce document pour vous aider à éviter ces erreurs. Ces conseils s'appliquent à la fois au câblage traditionnel et aux avions équipés d'un système Vertical Power.

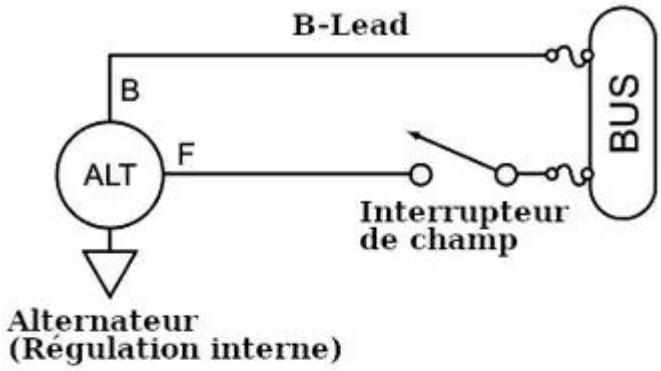
10. NE PAS CONNAITRE LE FONCTIONNEMENT DE L'ALTERNATEUR

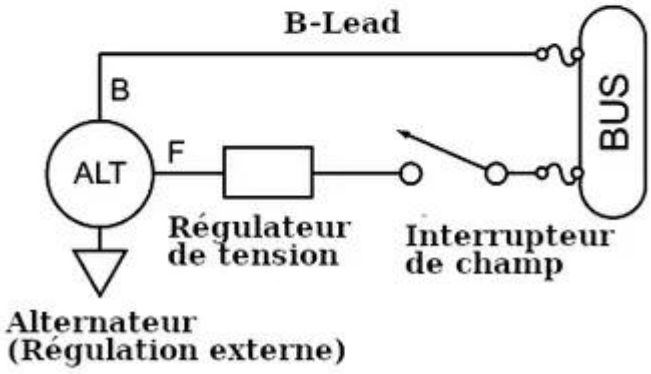
Il y a plusieurs aspects du fonctionnement de l'alternateur qui sont souvent négligés, mais qui sont importants pour un câblage correct et le bon fonctionnement de l'avion :

Capacité de l'alternateur. Un alternateur classé à 60 ampères signifie qu'il devrait pouvoir fournir 60 ampères pour alimenter une charge de 60 ampères provenant de l'avionique, des feux et d'autres dispositifs de l'avion. Cela ne signifie pas qu'il fournit toujours 60 ampères. Il ne fournit que la puissance équivalente à celle consommée par les appareils de l'avion. Par exemple, l'avionique peut ne consommer que 12 ampères et le régulateur de tension ajuste alors la sortie de l'alternateur pour qu'il fournisse seulement 12 ampères. Lorsque vous allumez un phare d'atterrissage de 6 ampères, le régulateur ajuste la sortie et permet à l'alternateur de fournir 18 ampères.

Il est également important de noter que l'alternateur recharge une batterie faible et maintient une batterie pleine "au top". Pour les besoins de la planification, il est recommandé de réduire la capacité de l'alternateur d'environ 20 % et de considérer cette valeur comme la puissance maximale pratique. Par exemple, 20 % de 60 ampères = 12 ampères, donc il est raisonnable de considérer que l'alternateur pourra gérer 48 ampères sans problème.

Fil de champ et régulateur de tension. Un alternateur doit avoir un régulateur de tension pour fonctionner correctement. Le régulateur surveille en permanence la tension du bus et ajuste la sortie de l'alternateur.





Le régulateur est alimenté depuis le bus via un fil appelé fil de champ. Il est appelé fil de champ car il transporte la puissance qui crée le champ électrique dans l'alternateur, générant ainsi l'électricité. Cette puissance sort par le « B-lead » vers le bus électrique principal de l'avion.

Le courant dans le fil de champ augmente à mesure que la charge électrique de l'avion augmente, et se situe typiquement dans une plage de 2 à 4 ampères. Certains alternateurs sont régulés en interne (le régulateur est intégré), tandis que d'autres ont un régulateur externe (un boîtier séparé situé à l'extérieur de l'alternateur).

B-lead. Le B-lead est le gros fil (généralement du calibre 6 ou 8) qui relie l'alternateur au bus électrique. Il transporte l'énergie générée par l'alternateur vers le bus, qui la distribue ensuite aux différents appareils et à la batterie. Un bus électrique est une connexion électrique commune entre plusieurs dispositifs. Il peut s'agir d'un morceau de cuivre massif ou de fils connectés ensemble.

Tension de fonctionnement. Les avions expérimentaux d'aujourd'hui fonctionnent avec des systèmes de 14 volts ou 28 volts. Vous entendrez parfois parler de systèmes 12 volts ou 24 volts. Pourquoi cette différence ? C'est parce que les batteries sont évaluées à 12 ou 24 volts. Lorsque le moteur tourne et que l'alternateur est activé, celui-ci génère 14 volts ou 28 volts, légèrement supérieurs à la tension de la batterie, afin de maintenir la charge de la batterie.

Une situation de surtension se produit lorsqu'il y a une défaillance du régulateur de tension, provoquant une production de tension supérieure à 16 volts (ou 32 volts pour un système 28 volts). Un système de protection contre la surtension court-circuite généralement le circuit de champ à la masse, ce qui fait sauter le disjoncteur et effondre ainsi le champ de l'alternateur. Cette méthode est appelée système "crowbar"(*). Le disjoncteur saute à cause du court-circuit, pas directement à cause de la surtension (les disjoncteurs réagissent au courant, pas à la tension).

Indicateur de panne de l'alternateur. Si la tension est autour de 14 volts, l'alternateur fonctionne normalement. Si la tension du bus tombe à environ 12 volts, l'alternateur ne fonctionne pas correctement. Les causes possibles de défaillance incluent :

- Courroie ou fixation de l'alternateur desserrée
- Fil desserré (le connecteur du fil de champ à l'alternateur est souvent en cause)

- Régulateur de tension défaillant
- Courant tiré sur l'alternateur supérieur à sa capacité, ce qui indique un système mal conçu ou une tentative de charger une batterie à plat
- Disjoncteur de champ ou fusible B-lead défectueux
- Une surtension ayant fait sauter le disjoncteur de champ (dans les systèmes avec protection OV)
- Batterie défectueuse entraînant une chute de tension du bus
- Interrupteur de champ de l'alternateur éteint

Fonctionnement avec deux alternateurs. Si vous disposez d'un alternateur principal et d'un alternateur secondaire (de secours), seul un alternateur doit être activé à la fois (autrement dit, un seul fil de champ est alimenté). Si les deux sont activés simultanément, ils ne partagent pas équitablement la charge. L'alternateur dont le régulateur est réglé sur la tension la plus élevée fournit tout le courant ce qui peut entraîner une surcharge de l'alternateur. Si deux alternateurs sont installés, utilisez un interrupteur qui permet d'en activer un seul à la fois.
L'exception est une architecture à bus double indépendant, où chaque alternateur est connecté à son propre bus et les deux alternateurs peuvent fonctionner simultanément.

La sortie de l'alternateur peut varier en fonction du régime moteur, notamment pour les alternateurs de secours SD-8 ou SD-20 montés sur la pompe à vide. Vous ne pourrez pas obtenir la pleine tension au ralenti.

9. NE PAS UTILISER LES TECHNIQUES APPROPRIÉES

Les avions d'aujourd'hui dépendent fortement du système électrique, il est donc important d'utiliser des techniques de câblage correctes pour garantir la sécurité et la fiabilité à long terme.

Si vous ne savez pas comment sertir un fil, procurez-vous des cosses et du fil et entraînez-vous. C'est relativement peu coûteux. Lisez attentivement les instructions fournies avec l'outil à sertir. Il est facile de penser qu'un outil à sertir est simple à utiliser et il l'est, une fois que vous maîtrisez la bonne technique. Vertical Power propose un guide gratuit pour l'outil à sertir sur son site Web (section Documents). Si vous n'êtes pas à l'aise avec la soudure, trouvez un ami pour vous aider à vous entraîner. Apprenez à travailler avec du fil blindé et du fil coaxial. Le coaxial peut être délicat et causer des problèmes si ce n'est pas fait correctement. L'aviation expérimentale est une opportunité d'apprentissage – profitez-en pour le faire.

Documents de référence utiles :

- FAA Advisory Circular AC 43.13, Acceptable Methods, Techniques, and Practices – Aircraft Inspection and Repair, disponible sur www.faa.gov
- Manuel de connecteurs : http://verticalpower.com/docs/Connector_Service_Manual.pdf
- Livre Aeroelectric Connection, disponible sur www.aeroelectric.com
- Vidéos EAA "Hints for Homebuilders" sur le site EAA : http://www.eaa.org/video/homebuilders.html

8. MAUVAISES CONNEXIONS PAR SERTISSAGE

Chaque connexion sertie représente un point potentiel de défaillance. Respectez les bases et tout ira bien :



Adapter la cosse à la taille du fil. Les cosses de meilleure qualité indiquent la taille de fil recommandée par un marquage. Les cosses isolées sont également codées par couleur selon la taille du fil :

- Jaune = 10/12 AWG
- Bleu = 14/16 AWG
- Rouge = 18/20/22 AWG

Utiliser le bon outil à sertir. Beaucoup des meilleurs outils exigent que la cosse soit installée dans un seul sens. Un sertissage dans le mauvais sens peut sembler correct mais l'intégrité du sertissage est compromise. De plus, utilisez l'outil approprié pour ce type précis de cosse.

Utiliser une cosse de bonne qualité. Pour les cosses isolées, privilégiez l'isolation nylon (semi-transparente) plutôt que vinyle (opaque).

Tester chaque sertissage. Donnez un bon petit coup de traction à chaque cosse pour vérifier qu'elle est correctement sertie et inspectez-la visuellement. Répéter le test si nécessaire. Étonnamment, même les cosses qui passent un test de traction informel peuvent échouer plus tard. Si un circuit pose problème à l'avenir, reprenez les vérifications et tirez sur les connexions.

Utiliser la bonne cosse. Les cosses sont conçues pour un logement de connecteur spécifique. Par exemple, il existe des broches D-sub standard et haute densité. Les broches haute densité peuvent entrer dans un connecteur standard mais pas exactement et elles nécessitent un outil à sertir différent.

7. TOMBER DANS LE PIÈGE DU « POINT DE DÉFAILLANCE UNIQUE »

Pour une raison quelconque, il existe beaucoup de légendes sur le fait de ne jamais avoir de point de défaillance unique dans le câblage ou même dans l'avion entier. Cette affirmation est trop large et imprécise pour servir de guide concret dans la planification des systèmes de votre avion.

De nombreux points de défaillance uniques existent aujourd'hui dans les avions car il est impraticable ou inutile d'ajouter des systèmes de secours. À l'inverse, des systèmes de secours doivent être utilisés là où ils sont absolument nécessaires. Il existe toujours un compromis qui ajoute de la complexité, du poids ou réduit la fiabilité globale. La redondance doit être choisie avec soin.

Dans le cadre de la planification de votre système électrique (et des autres systèmes également), vous devriez considérer ce qui se passe si un composant tombe en panne :

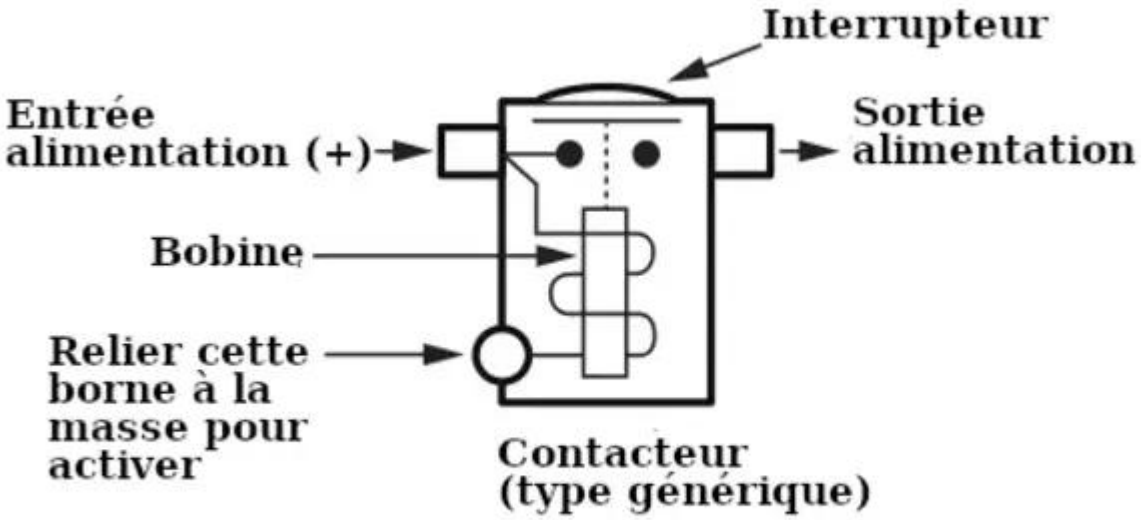
- Cela provoque-t-il une défaillance catastrophique ou simplement un inconvénient ?
- Quelle est la probabilité de défaillance ?

Beaucoup de décisions dépendent de la mission prévue de votre avion. Par exemple, une panne de l'EFIS a des conséquences très différentes pour un avion IFR comparé à un avion de type "vol local". Construisez l'avion qui est approprié pour vous.

6. NE PAS CONNAITRE COMMENT FONCTIONNENT LES CONTACTEURS ET LEURS DIFFÉRENCES

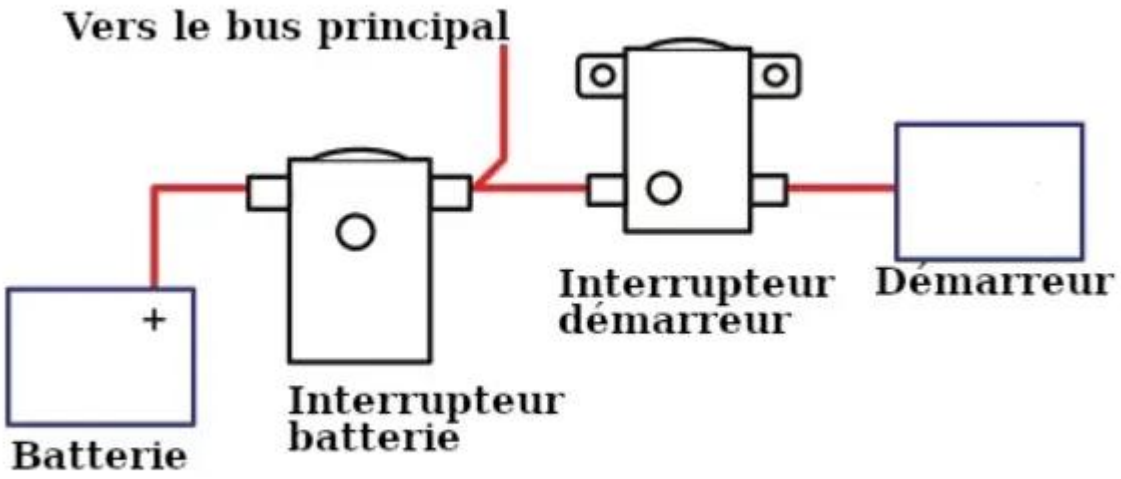
Les contacteurs sont utilisés pour commander des charges à fort courant dans l'avion. Pensez-y comme à un gros relais. Une bobine, lorsqu'elle est alimentée, crée un champ magnétique qui ferme le contact mécanique. La bobine ne consomme qu'un petit courant, mais elle permet de commander des charges très élevées, comme le démarreur.

Ci-dessous se trouve un schéma illustrant un contacteur générique.

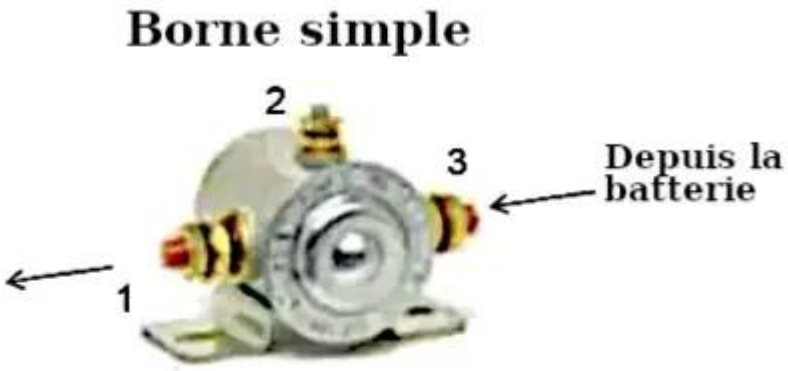


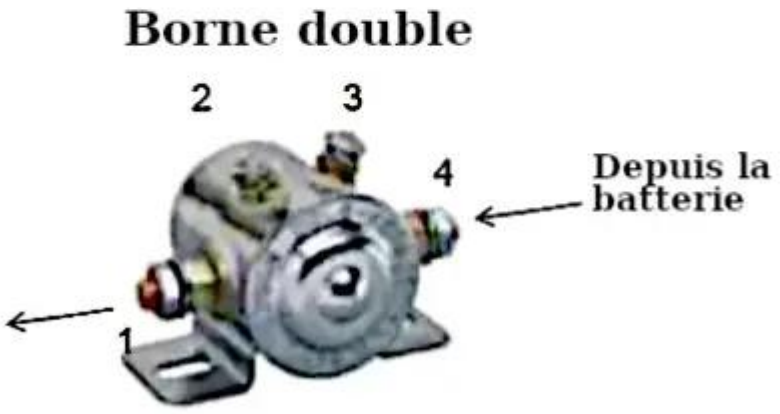
Le contacteur principal (master) est utilisé pour isoler la batterie du reste de l'avion. Le couper (via l'interrupteur principal) coupe généralement l'alimentation de l'avion et du cockpit en cas d'urgence.

Le diagramme ci-dessous montre comment les contacteurs sont câblés dans un système électrique typique.



Il existe deux types de contacteurs généralement utilisés dans les avions expérimentaux : Contacteur à service continu qui reste généralement allumé en permanence et le contacteur à service intermittent qui n’est activé que pendant quelques secondes à la fois. (Vertical Power propose une présentation détaillée des contacteurs)



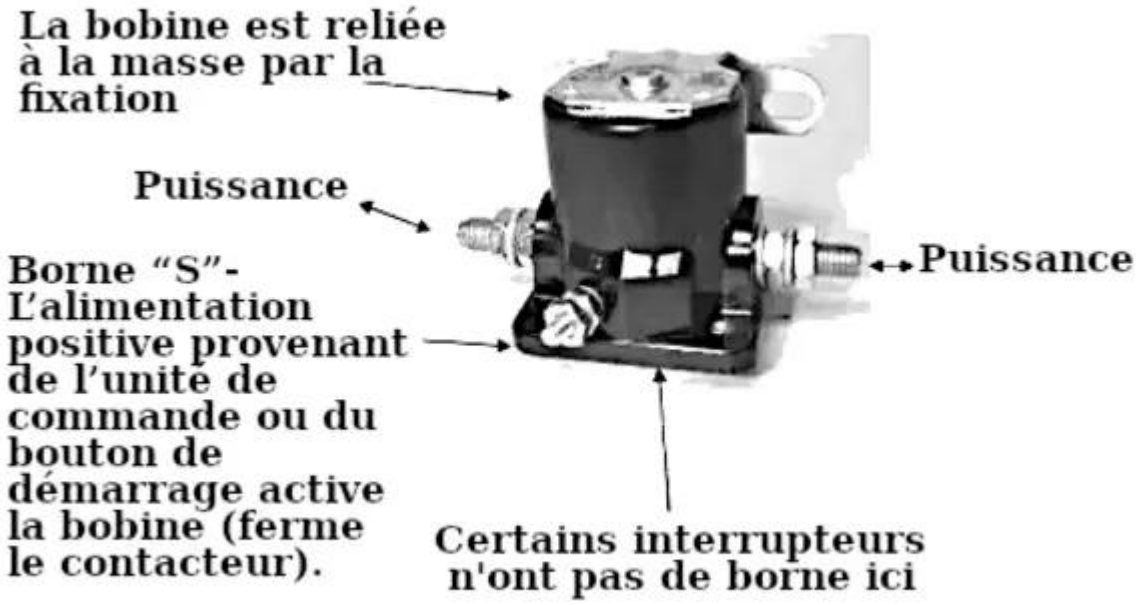


Le contacteur de batterie (aussi

appelé relais principal, contacteur principal, ou solénoïde principal) est un contacteur à service continu et devient assez chaud lors du fonctionnement normal. Il est fourni avec un ou deux plots pour la bobine. Il consomme typiquement environ 0,7 A sous 14 volts. Ce contacteur est commandé par un fil provenant de l'interrupteur principal dans le cockpit. L'interrupteur principal est relié à la masse. Lorsque vous fermez l'interrupteur principal, le fil du contacteur de batterie est mis à la masse, fermant le contacteur et fournissant alors l'alimentation au bus et au contacteur de démarreur. Cela diffère du contacteur de démarreur, qui est activé par un fil +12 V (ou +24 V).

Le contacteur de démarreur (aussi appelé relais de démarreur) est un relais à service intermittent, ce qui signifie qu'il est conçu pour être activé seulement pendant de courtes périodes. Ce contacteur consomme environ 4 A sous 14 V. Comme on le voit sur le diagramme ci-dessous, la bobine du contacteur est reliée à la masse via le support à l'arrière du contacteur. Ainsi, la bobine du démarreur est alimentée lorsque +12 V est appliqué sur le petit plot (bobine).

Ci-dessous, un contacteur de démarreur typique.

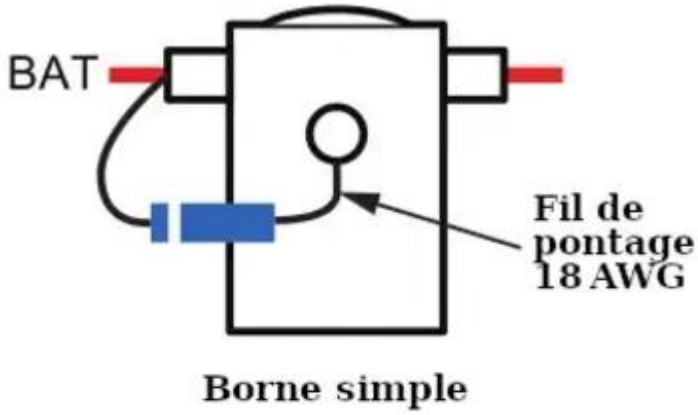


Le contacteur de démarreur et le contacteur principal sont conçus pour être activés de manières différentes pour des raisons de sécurité.

D'après les expériences recueillies sur le terrain, il est recommandé d'installer une diode en parallèle avec la bobine de chaque contacteur utilisé dans l'avion (principal, démarreur, train d'atterrissage, climatisation, etc.). Vous pouvez utiliser une diode classique 1N5400, disponible dans toute boutique d'électronique.

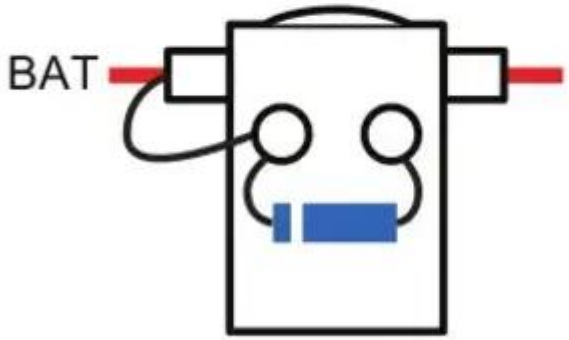
5. UTILISER LES MAUVAIS OUTILS

Il est courant de penser qu'un outil à sertir Molex, par exemple, peut sertir les broches de n'importe quel connecteur Molex (ou même d'un connecteur AMP ou autre).



Borne simple

Noter la direction de la diode



Borne double

Installation de la diode
du contacteur de batterie

En réalité, Molex, AMP et d'autres fabricants produisent des centaines de types de connecteurs différents, et chaque connecteur a son outil à sertir spécifique. Assurez-vous de savoir quel outil à sertir correspond à chaque type de connecteur.

Nous recommandons d'utiliser une matrice double pour les cosses isolées : Un sertissage pour la connexion électrique et un autre sertissage pour l'isolation. Chaque sertissage est légèrement différent, et la cosse doit être insérée dans le bon sens.

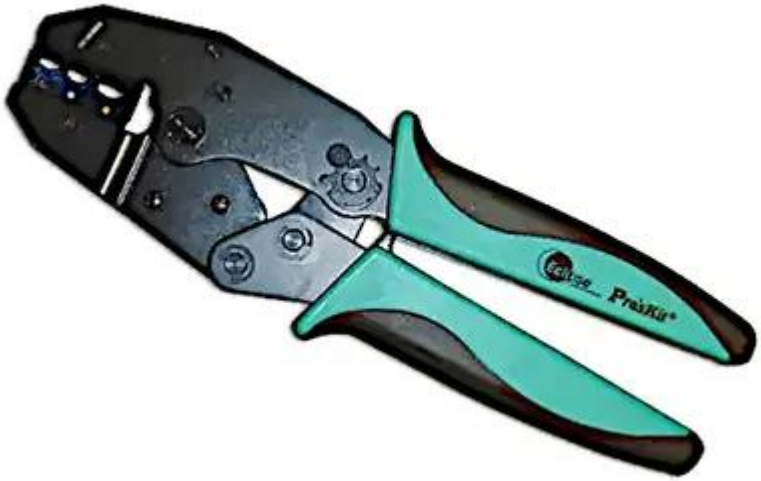
Procurez-vous les bons outils pour dénuder et assembler les connexions coaxiales. Voici quelques bonnes références pour les instructions sur les câbles coaxiaux :

- http://www.terminaltown.com/Pages/Page2.html
- http://www.extron.com/download/files/userman/cabtermkit-man.pdf
- http://www.aeroelectric.com/articles/bnccrimp.pdf

Les broches D-sub, très courantes sur les avions, existent en plusieurs variantes. Notez la différence : chaque type a son outil à sertir spécifique. Nous recommandons les broches à fût usiné.

Enfin, les gros câbles (de 0 à 8 AWG) utilisent généralement des cosses à anneau non isolées. Vous pouvez isoler ces grosses cosses avec de la gaine thermorétractable après le sertissage. Ne les sertissez pas avec des pinces ou des étaux. Il existe des outils spéciaux pour sertir correctement ces câbles. L'empreinte de sertissage sur la cosse se forme du côté opposé à la soudure latérale.

Voici un lien vers un bon document sur le sertissage des connecteurs Mate-n-Lok : http://www.matronics.com/aeroelectric/articles/matenlok/matenlok.html



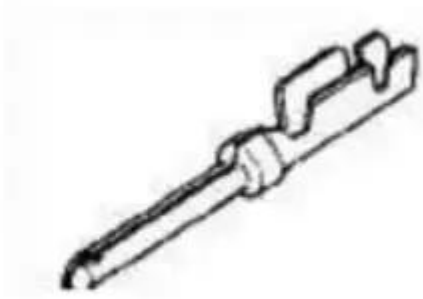
De bons dénudeurs de fils sont également importants. Les mauvais outils peuvent endommager le fil avec des entailles ou des coupures. Nous recommandons le Stripmaster ou un outil similaire (disponible en différentes tailles pour différents calibres de fils, vous aurez probablement besoin de deux tailles), comme illustré ci-dessous.

4. UTILISER UN CALIBRE DE FIL INCORRECT OU UN DISJONCTEUR INAPPROPRIÉ

Les disjoncteurs (et fusibles) protègent le câblage, pas l'appareil. Si le disjoncteur est trop fort, le fil ou l'isolant peut surchauffer et se détériorer. Si le disjoncteur est trop faible, il peut se déclencher par inadvertance.



Broche cylindrique usinée



Broche à sertir

Il n'y a pas de danger à utiliser un fil trop gros, mais utiliser un fil trop petit peut poser des problèmes :

- Il chauffe et peut provoquer une défaillance de l'isolant.
- Il entraîne une chute de tension excessive le long du fil.

Dans les avions plus grands, il peut être nécessaire de calculer la chute de tension le long du fil pour déterminer le calibre correct. Pour nos avions légers, le tableau suivant fournit une référence simple :



Si vous n’êtes pas sûr, privilégiez un fil de plus gros calibre. L’impact sur le poids est négligeable (par exemple, le fil Tefzel 18 AWG pèse 0,00789 lb par pied). La plupart des fabricants d’avions en kit et des sociétés d’avionique fournissent des recommandations pour le dimensionnement des fils et disjoncteurs. Sinon, vous pouvez utiliser un ampèremètre (généralement moins de 50 $ chez Radio Shack, etc.) pour mesurer la consommation électrique de chaque appareil et déterminer ainsi le calibre du fil. Branchez l’ampèremètre en série pour mesurer le courant, comme indiqué sur le diagramme ci-dessous.

3. NE PAS FAIRE ATTENTION AU CÂBLE D’ALIMENTATION Vs CÂBLE DE MASSE

Brancher les fils à la batterie à l’envers peut provoquer des pannes des instruments et autres équipements (avec des bruits de d’éclatement et de la fumée). Cela peut arriver facilement si la batterie est installée à l’envers ou si les fils ne sont pas étiquetés.

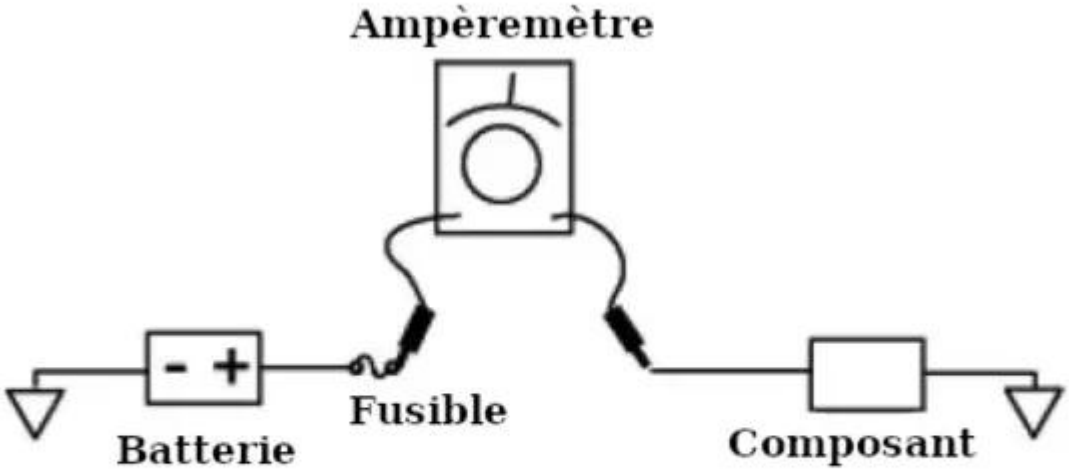
Up to (amps)	Use wire size (AWG)
5A	20
10A	18
18A	14
Data signal	22

Pour réduire ce risque, utilisez des gaines thermorétractables codées par couleur (noir pour le négatif, rouge pour le positif) sur les cosses.

Si possible, raccourcissez les fils pour qu’ils ne puissent pas être branchés si la batterie est inversée.

Important : Débranchez d’abord le câble de masse, puis le câble positif. Pour reconnecter, branchez d’abord le câble positif, puis le câble de masse. Cette méthode évite les étincelles entre le positif et la structure (et empêche de brûler un trou dans le firewall).

Les batteries de l’avion ne doivent pas être connectées tant que le câblage n’est pas installé et que chaque circuit n’a pas été testé individuellement. Ne faites de câblage avec la batterie connectée. Ce n’est pas une règle absolue, mais une précaution pour éviter les erreurs involontaires que tout le monde peut commettre.



Connecter l'ampèremètre en série
entre la batterie et le composant

2. NE PAS PRENDRE LES MASSES AU SÉRIEUX

Il n’est pas rare de penser que le fil d’alimentation (positif) est le plus important pour fournir de l’électricité. La masse est tout aussi cruciale, car l’électricité doit parcourir tout le circuit, de la source à l’équipement puis retour à la source. Le fil de masse doit avoir le même calibre ou un calibre plus gros (numéro AWG plus petit) que le fil qui alimente le dispositif.

Une bboucle de masse se produit lorsque l’électricité emprunte deux chemins différents, chacun ayant une résistance différente. Les boucles de masse sont très perceptibles sur les systèmes audio d’avion et peuvent provoquer divers problèmes, notamment du bruit indésirable.

Le raccordement à la masse est autant un art qu’une science. En gardant cela à l’esprit voici quelques options pour le câblage des masses. Choisissez celle qui correspond le mieux à vos besoins. Gardez à l’esprit que plus de câblage signifie plus de poids (bien que probablement négligeable). Notez également que, dans tous les exemples ci-dessous, les masses de l’avionique sont regroupées.

Option 1 : Reliez chaque appareil électrique à un point de masse commun, typiquement un bus de masse (ou barre de bornes) sur le pare-feu.

Option 2 : Reliez toutes les masses des équipements avioniques à un point de masse intermédiaire, puis utilisez un fil plus gros de ce bus local jusqu’à la masse du pare-feu. Les autres appareils ont leurs fils de masse reliés directement à la masse du pare-feu.

Option 3 : Reliez les masses des avioniques directement à la masse du pare-feu, et les autres masses à un point de masse local (une partie métallique de l’avion près de l’appareil, par exemple les feux ou le chauffage du Pitot).

Masse audio : Les masses de l’audio doivent également être soigneusement planifiées. La masse des lignes audio est distincte de la masse du châssis. (note : nous parlons des lignes entre le panneau audio et la prise casque, et non du fil de masse du panneau audio lui-même) La plupart des systèmes isolent cette masse afin de minimiser le bruit externe. Si vous reliez la masse audio à la masse du châssis, vous introduirez probablement du bruit dans le casque. Assurez-vous d’utiliser des rondelles isolantes en fibre ou d’autres moyens pour isoler les prises casque du châssis.

La tresse de masse moteur joue un rôle important dans l’électricité des avions à instrumentation numérique. Si elle se déserre, le démarreur, l’alternateur et certains capteurs moteur peuvent ne plus fonctionner. Il est recommandé d’installer deux sangles de masse moteur indépendantes.

Masse magnétos : La magnétos doit être mise à la masse via son blindage. C'est la meilleure façon d'assurer une mise à la masse fiable.

Blindage : Suivez les instructions du fabricant. Évitez de relier la masse du blindage aux deux extrémités lorsque le blindage va du moteur et la cellule.

1. NE PAS PLANIFIER À L'AVANCE

Il est tentant de se lancer directement dans le câblage mais le temps passé à préparer en amont sera largement rentabilisé plus tard. Une fois que vous avez vos schémas prêts, vous pourrez les utiliser pour :

- Faire des découpes dans les cloisonnements, nervures, etc.
- Établir une liste de courses pour fils, cosses, etc.
- Installer les fils et composants
- Étiqueter les fils
- Configurer l'avionique (et savoir d'où vient chaque signal !)
- Maintenance et dépannage continus
- Modifications ou mises à jour futures de l'avion (oui, vous ajouterez le nouveau gadget dans trois ans)

Voici quelques conseils pour bien préparer votre câblage :

1. Déterminez la mission et l'usage prévu de l'avion. Il est toujours tentant de surdimensionner votre avion juste parce que vous le pouvez. Mais vous risquez de finir avec quelque chose qui ne correspond pas à vos besoins quand vous commencerez à l'utiliser. Avoir une idée claire de la mission aide à prendre les décisions qui affecteront le poids, de la complexité (et donc le coût) de l'appareil.
2. Faites un inventaire de tout le matériel électrique de l'avion. Même si vous n'êtes pas sûr de l'EFIS ou des feux de navigation, cela vous obligera à examiner chaque composant et à déterminer si c'est le bon pour vous. Déterminez le diamètre des fils, la valeur des disjoncteurs à utiliser. Déterminez le bus ou interrupteur auquel chaque appareil est connecté.
3. Calculez la consommation de chaque appareil. Calculez la consommation totale de tous les équipements pour dimensionner les câbles du bus principal et l'alternateur. Les volets et le compensateur peuvent être ignorés car ils fonctionnent peu de temps et consomme peu. Utilisez environ 3 A pour le champ de l'alternateur. Si le fabricant ne donne pas la consommation, ce qui est rès courant, contactez-le ou mesurez-la avec un ampèremètre.(Nous faisons une petite digression, mais nous recommandons d'appeler le fabricant si vous avez des questions. Les informations sur les forums web peuvent être inégales)
4. Dessinez un plan de l'emplacement de chaque composant dans l'avion. Faire plusieurs schémas rend le travail plus facile : un pour les feux, un autre pour l'avionique, un autre pour les antennes, par exemple. Pas besoin que ce soit artistique : dessin à la main ou PowerPoint.
5. Tracez un schéma représentant les cheminements des principaux fils et câblage dans le fuselage, les ailes, la cloison pare-feu. Vous serez surpris par le nombre de trous que vous allez devoir percer et il est plus facile de percer et d'ébavurer ces trous lorsque le fuselage et les ailes sont ouverts.
6. Positionnez les interrupteurs sur le tableau de bord puis faites un essai complet des procédures normales et d'urgence jusqu'à ce que vous soyez satisfait du positionnement. Assurez-vous que les interrupteurs sont dimensionnés pour la charge prévue (c'est une bonne idée de surestimer de 30 % à 50 % pour plus de sécurité). Les interrupteurs du manche sont à prendre en compte également.
7. Réalisez un schéma de câblage détaillé indiquant chaque fil et où chaque extrémité du fil doit être connectée. Ce schéma indique également les connecteurs avionique et les connecteurs personnalisés (ailes-fuselage, par ex.). Ce n'est pas une mauvaise idée de provisionner quelques circuits supplémentaires pour des modifications futures. Séparez les systèmes sur plusieurs feuilles pour rester clair. Étiquetez chaque fil : imprimez de petites étiquettes, enroulez-les autour du fil et protégez avec une gaine thermorétractable transparente.

Lorsque vos plans sont tracés, faites votre câblage puis mettez à jour vos schémas au fur et à mesure du câblage des inévitables modifications. Même si le câblage est parfait, réalisez des schémas "comme construit" ainsi vous pourrez modifier et maintenir votre avion plus tard. Ces documents seront inestimables lorsque vous aurez besoin de modifier ou dépanner votre avion, même des années plus tard.

(*)Le terme "crowbar" (barre à mine) fait référence à la manière dont le circuit est "court-circuité"

volontairement pour protéger le reste du système : Un détecteur surveille la tension du bus électrique. Si la tension dépasse un seuil critique, le circuit du champ de l'alternateur (ou parfois la ligne d'alimentation) est court-circuité volontairement vers la masse. Ce court-circuit fait sauter le disjoncteur protégeant le champ ou le B-lead. Lorsque le disjoncteur s'ouvre, le champ de l'alternateur est interrompu, l'alternateur cesse de produire de l'électricité et la surtension disparaît.