



U.S. Department of Defense

## Les phénomènes électrostatiques dans l'aviation

### Avant de débuter le cours ...



**Merci !**

## Présentation du cours



- Introduction.
- Qu'est ce que l'électricité statique ?
- Dangers de l'électricité statique.
- L'électricité statique dans les aéronefs.
- Prévention à bord des aéronefs.
- La foudre.
- Équipements sensibles à l'électricité statique.

## Introduction

- L'électricité statique est un phénomène souvent invisible.
- Elle est potentiellement dangereuse tant pour l'homme que pour les équipements électriques et électroniques.
- Selon une enquête réalisée en mars 1993 par *Semiconductor Reliability News*, les problèmes liés à l'électricité statique étaient la cause de 60 % des pannes d'équipements électroniques.
- Ces pannes représentent des millions de dollars de pertes annuelles pour l'industrie.
- L'électricité statique est connue sous l'acronyme « ESD » qui signifie « ElectroStatic Discharge ».

## Introduction

- Nous sommes tous soumis à des phénomènes liés à l'électrostatique.



## Introduction

- Un des accidents aéronautiques les plus célèbres probablement dû à l'électricité statique est l'embrasement du dirigeable « Hindenburg » à son arrivée à Lakehurst au New Jersey le 6 mai 1937.



## Introduction

- Plus récemment, l'électricité statique a été un facteur contribuant à un accident mortel sur un Beech 1900 le 3 janvier 1992.



- Une liaison de masse a été trouvée manquante entre le radôme et la structure de l'aéronef.
- De ce fait, il y aurait pu y avoir des interférences électrostatiques qui auraient perturbé le fonctionnement du glide-slope durant la descente.

## Introduction

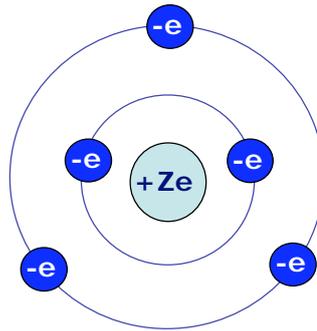
- Plus récemment, l'électricité statique a été un facteur contribuant à un accident mortel sur un Beech 1900 le 3 janvier 1992.



- Lors de l'approche, après être passé au-dessus de la pente, l'avion est passé en dessous.
- Il s'est écrasé à environ 6 kilomètres du seuil de piste tuant deux personnes et en blessant sérieusement deux autres.
- Source : NTSB DCA92MA016.

### Qu'est-ce que l'électricité statique ?

- Pour comprendre l'électricité et l'électricité statique, il faut revenir à l'étude de l'atome.
- Un atome est l'élément le plus petit de la matière.
- Il est constitué de :
  - Un noyau comportant des protons et des neutrons.
  - Des électrons en orbite en périphérie.

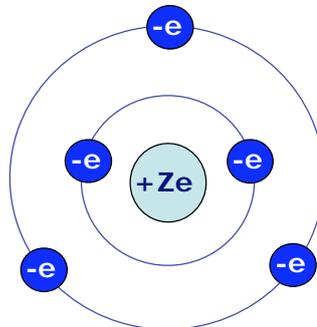


### Qu'est-ce que l'électricité statique ?

- Pour comprendre l'électricité et l'électricité statique, il faut revenir à l'étude de l'atome.
- Un atome est l'élément le plus petit de la matière.
- Les éléments de l'atome ont éventuellement une charge électrique élémentaire :

- |                             |
|-----------------------------|
| • Positive pour le proton.  |
| • Neutre pour le neutron.   |
| • Négative pour l'électron. |

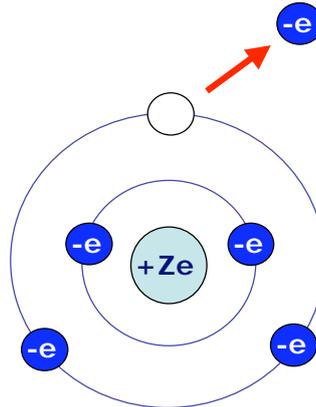
- La charge électrique globale de l'atome est nulle.



### Qu'est-ce que l'électricité statique ?

- Les électrons sont mobiles.
- Un atome peut perdre un ou plusieurs électrons; dans ce cas il deviendra un ion positif.

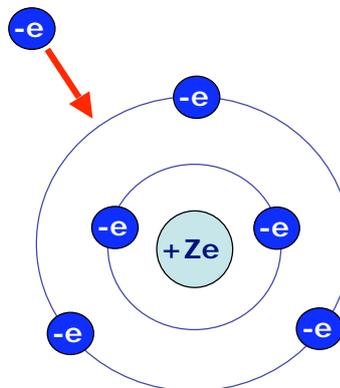
***Ion positif :***



### Qu'est-ce que l'électricité statique ?

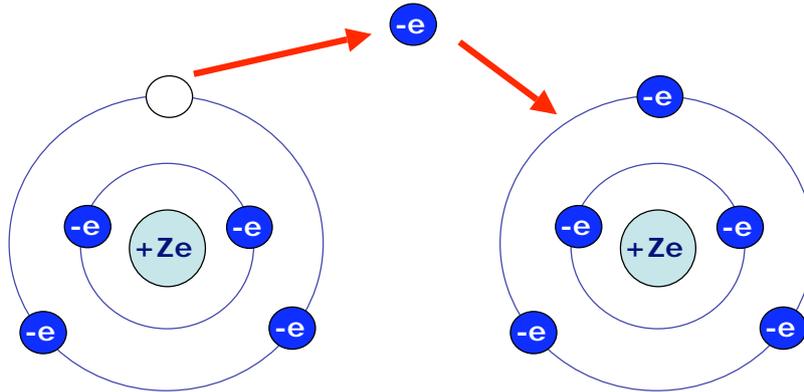
- Les électrons sont mobiles.
- Un atome peut gagner un ou plusieurs électrons; dans ce cas il deviendra un ion négatif.

***Ion négatif :***



## Qu'est-ce que l'électricité statique ?

- L'électricité est la circulation d'électrons.



## Qu'est-ce que l'électricité statique ?

- Les charges électriques de signe contraire s'attirent; elles sont attractives.



**Charges attractives**

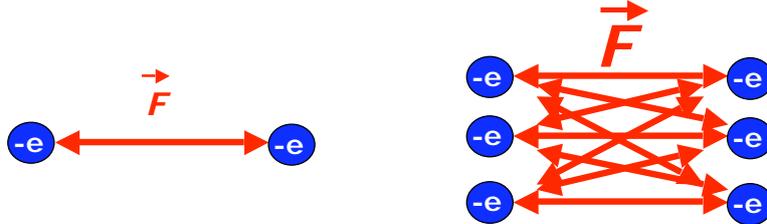
- Les charges électriques de même signe se repoussent; elles sont répulsives.



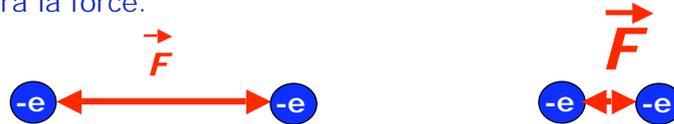
**Charges répulsives**

### Qu'est-ce que l'électricité statique ?

- Il existe une force (N) d'attraction ou de répulsion des charges suivant le cas.
- Plus le nombre de charge sera grand, plus grande sera la force.



- Plus petite sera la distance séparant les charges, plus grande sera la force.



### Qu'est-ce que l'électricité statique ?

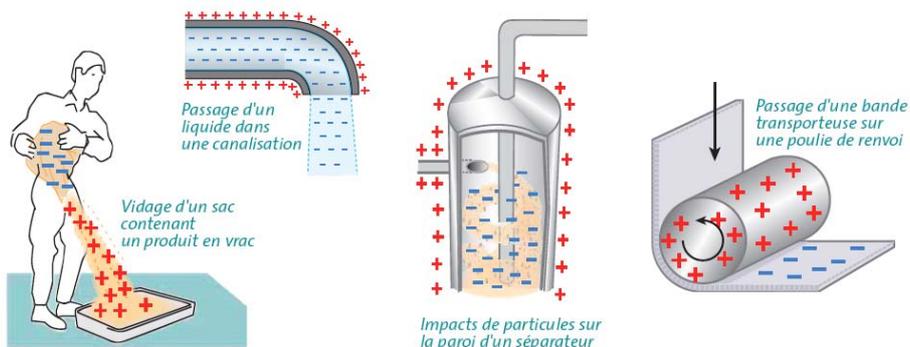
- Tout phénomène électrostatique est donc dû à la présence de charges électriques.
- Une charge électrique ne peut exister sans support matériel : électron, ion positif, ion négatif.
- Selon qu'un matériau permet ou non la mobilité des charges, il est conducteur ou isolant.

## Qu'est-ce que l'électricité statique ?

- Les solides, s'ils sont conducteurs, permettent le déplacement d'électrons (courant électronique).
- Dans le cas des solides isolants, les charges seront peu mobiles.
- Un liquide sera globalement neutre; toutefois, il sera constitué d'ions mobiles.
- De manière générale, les gaz seront neutres et isolants tant ioniques qu'électroniques.
- Toutefois, dans certaines conditions de température et de pression, un gaz peut s'ioniser : il deviendra conducteur.

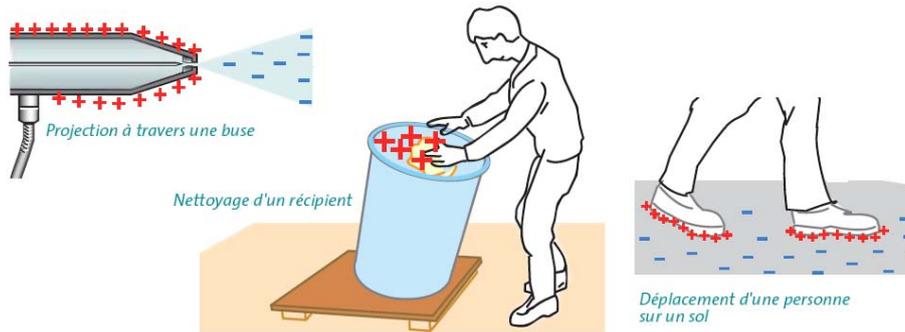
## Qu'est-ce que l'électricité statique ?

- Le phénomène des charges électriques apparaissant sur des matériaux est connu sous le nom « d'électrisation » des matériaux.



## Qu'est-ce que l'électricité statique ?

- Le phénomène des charges électriques apparaissant sur des matériaux est connu sous le nom « d'électrisation » des matériaux.

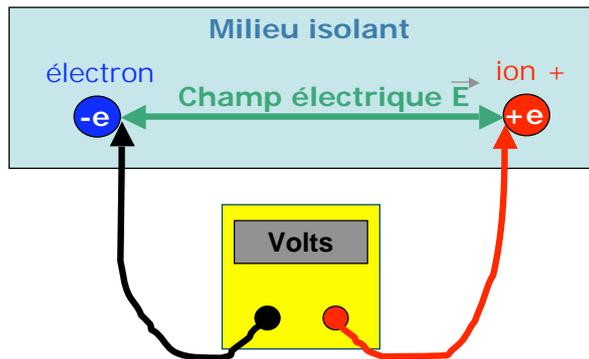


## Qu'est-ce que l'électricité statique ?

- Nous avons vu qu'une charge négative, tel un électron, était attirée par une charge positive, tel un ion positif.
- S'il existe une possibilité de circulation des électrons, dans un matériau conducteur, les charges s'équilibrent.

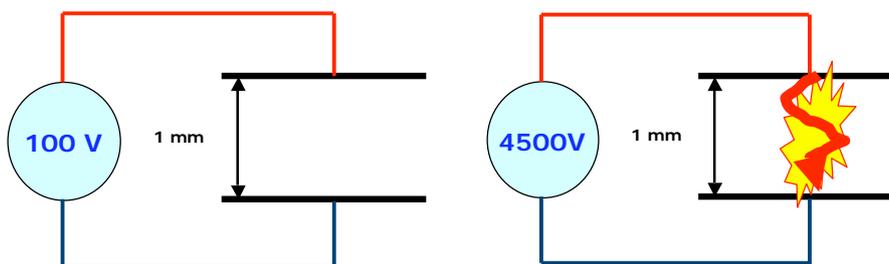
### Qu'est-ce que l'électricité statique ?

- S'il n'existe pas de possibilité de circulation des électrons, ce qui est le cas des matériaux isolants, il apparaît un champ électrique E (V/m).
- De là, on peut définir une différence de potentiel ou tension (V).



### Qu'est-ce que l'électricité statique ?

- Un champ électrique impose des contraintes sur un matériau isolant.
- Exemple : air à 20° C à une pression de 1 bar :



**Il y a claquage disruptif de l'isolant !**

## Qu'est-ce que l'électricité statique ?

- Notre perception des potentiels électrostatiques :

- Nous **sentons** une décharge si le potentiel est supérieur à **3 500 V**.
- Nous **entendons** une décharge si le potentiel est supérieur à **5 000 V**.
- Nous **voyons** une décharge si le potentiel est supérieur à **8 000 V**.

- De manière générale, les circuits intégrés électroniques peuvent être endommagés avec des tensions comprises entre 100 et 1000 V !

## Qu'est-ce que l'électricité statique ?

- Quelques ordres de grandeur des potentiels électrostatiques :

Actions	Tensions suivant l'humidité relative		
	10 %	40%	55 %
Marche sur un tapis	35 000 V	15 000 V	7 500 V
Marche sur un plancher en Vinyl	12 000 V	5 000 V	3 000 V
Déplacement d'individus	6 000 V	800 V	400 V
Déballage d'un emballage à bulles	26 000 V	20 000 V	7 000 V

## Dangers de l'électricité statique

- Destruction d'équipements électroniques.
- Risques d'explosions ou d'inflammations par production d'une étincelle.
- Triangle d'inflammabilité :



- Foudre : sera étudiée par après.

## Dangers de l'électricité statique

- Principales causes d'accidents :



english.people.com.cn

- Transfert de liquides pétroliers.
- Nettoyage et inspections de citernes ou de réservoirs.
- Déversements de poudres dans une atmosphère explosible (gaz ou vapeurs inflammables).
- Phénomènes disruptifs dus à la personne humaine électriquement chargée.
- Utilisation de solvants (ex: toluène) dans des installations présentant des parties métalliques isolées ou des surfaces isolantes.
- L'absence de liaisons équipotentielles entre matériels ou contenants.

## Questionnaire 1



Pierre GILLARD/EXTI.36

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## L'électricité statique dans les aéronefs

- Un aéronef en vol est électriquement isolé de la terre.
- Suivant le type de pneumatiques, il peut en être de même pour les aéronefs équipés de trains à roues qui sont au sol.



© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## L'électricité statique dans les aéronefs

- Les hydravions sur l'eau et les hélicoptères à patins, lorsque posés, ont un contact éventuel avec la terre. Les potentiels de la masse de l'aéronef et de la terre devraient être identiques.



Photo : Pierre GILLARD

## L'électricité statique dans les aéronefs

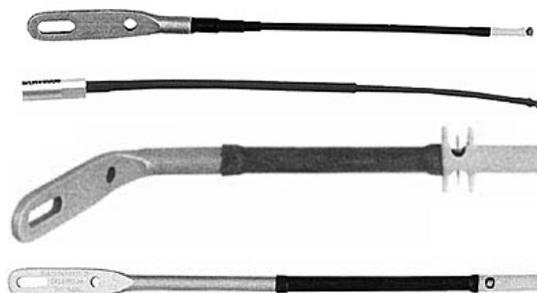
- Lorsque la masse d'un aéronef n'est pas directement en contact avec la terre, cette masse, bien que considérée à un potentiel nul par rapport à son système électrique, peut être à un potentiel différent par rapport à la terre.
- Cette différence de potentiel peut atteindre plusieurs milliers de volts et même dépasser 10 000 volts.
- Cette différence de potentiel entre la masse de l'aéronef et la terre est due à l'électricité statique.

## L'électricité statique dans les aéronefs

- Certaines zones de l'atmosphère peuvent être chargées électriquement.
- Lorsque le potentiel de ces zones chargées électriquement est suffisamment élevé, il se crée le phénomène de foudre.
- Lorsqu'un aéronef circule dans ces zones chargées électriquement, il peut prendre la valeur de cette charge.
- S'il entre dans une zone chargée de manière opposée, des arcs électriques peuvent apparaître essentiellement aux extrémités saillantes.

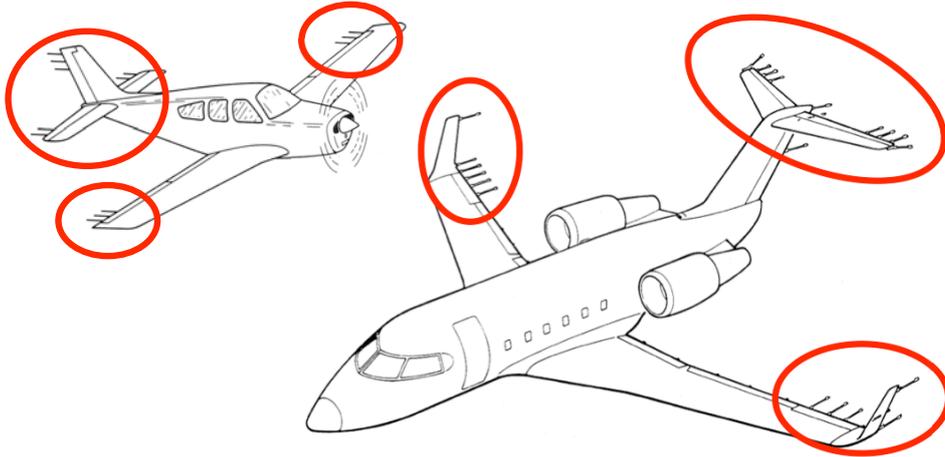
## L'électricité statique dans les aéronefs

- Afin d'évacuer les charges électriques et ainsi éviter des problèmes parasites dans les systèmes électroniques de bord, on installe sur les avions des déchargeurs statiques.
- On les trouvera essentiellement aux extrémités des profils d'ailes, des plans verticaux et des gouvernes.



## L'électricité statique dans les aéronefs

- Emplacement des déchargeurs statiques :



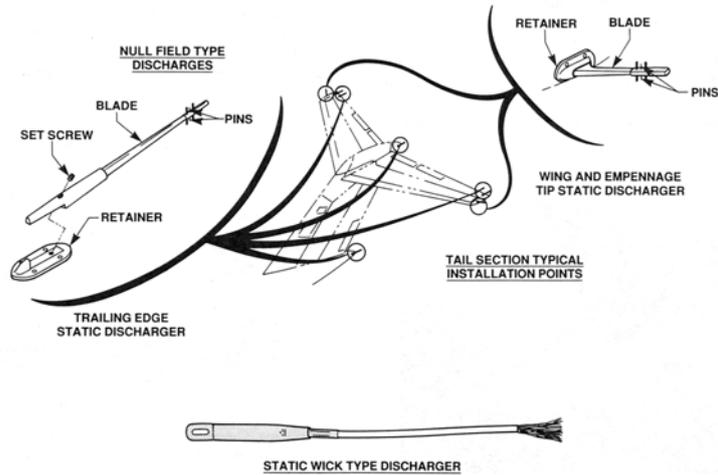
## L'électricité statique dans les aéronefs

- Emplacement des déchargeurs statiques :



## L'électricité statique dans les avions

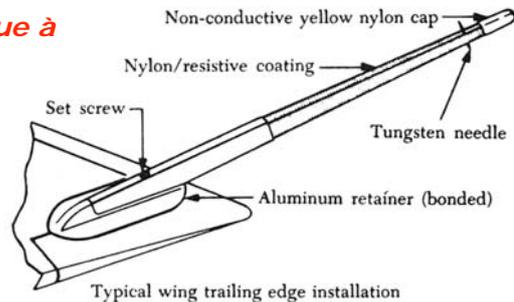
- Il existe différents types de déchargeurs statiques :



## L'électricité statique dans les avions

- Il existe différents types de déchargeurs statiques :

### **Déchargeur statique à champ nul :**



- Selon l'AC65-15A, il ne peut exister une résistance mesurée supérieure à  $0.1 \Omega$  entre le support du déchargeur et la masse de l'avion

## L'électricité statique dans les aéronefs

- Problème du levage de charges à l'élingue ou du treuillage à l'aide d'hélicoptères :



Photo : Pierre GILLARD



Photo : collection Pierre GILLARD

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## L'électricité statique dans les aéronefs

- Problème du levage de charges à l'élingue ou du treuillage à l'aide d'hélicoptères :



Photo: Copyright © Max Tashir, 2008/11/10

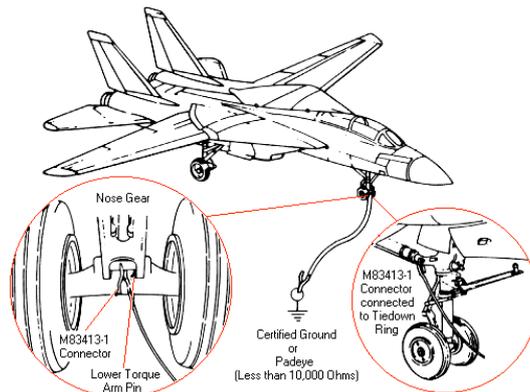
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## Prévention à bord des aéronefs

### Définitions

- Mise à la terre (« Grounding ») : action de connecter la masse de l'aéronef à la terre.



## Prévention à bord des aéronefs

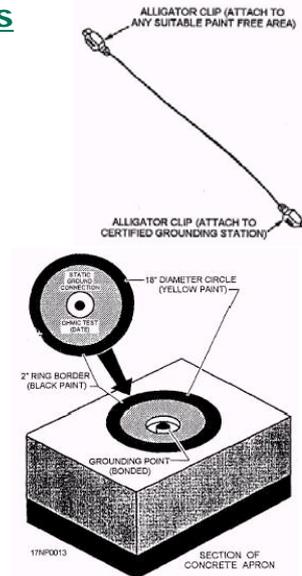
### Définitions

- Mise à la terre (« Grounding ») : action de connecter la masse de l'aéronef à la terre.
- Mise à la masse (« Bonding ») : action de connecter deux éléments de masse ensemble par une liaison équipotentielle.



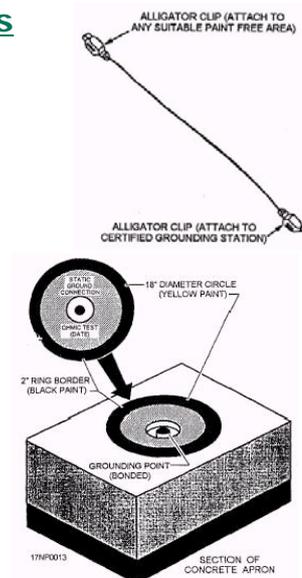
## Prévention à bord des aéronefs

- Au sol, un moyen de se prémunir des effets de l'électricité statique est de brancher l'aéronef à la terre.
- Sur tous les aérodromes, dans tous les hangars (s'ils sont conçus correctement !), on trouve des points de connexion vers la terre (« *Ground* »).
- De même, les aéronefs disposent de points de branchement pour un cordon de terre.



## Prévention à bord des aéronefs

- Il suffit donc de connecter le cordon entre la terre et l'aéronef.
- **NE JAMAIS CONNECTER LE CORDON À L'AÉRONEF EN PREMIER LIEU !**
- On connecte toujours le cordon au sol en premier lieu et à l'avion ensuite.
- Lorsque vous travaillez sur un avion, même si vous n'êtes pas électricien ou technicien en avionique, vous devez toujours vérifier qu'il est mis à la terre.



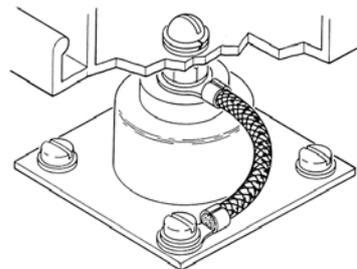
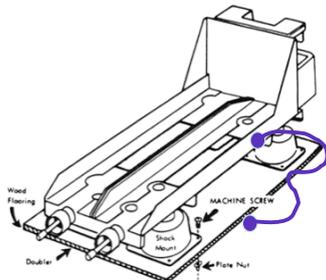
## Prévention à bord des aéronefs

- Tout élément métallique isolé de la structure de l'aéronef peut se charger en électricité statique.
- Tout élément dynamique créera également des charges électriques.
- Il faut donc veiller à éliminer ces charges par des liaisons équipotentielles vers la structure (masse) de l'avion.
- Certaines actions telles le perçage, le meulage ou le ponçage génèrent aussi des charges électriques.



## Prévention à bord des aéronefs

- Dès lors, toute pièce métallique statique ou dynamique doit être connectée à la masse de l'aéronef.
- On parle, par exemple, des moteurs, des portes, des racks avioniques, de panneaux mobiles, etc.
- À défaut de connexions de masse, des parasites seront générés et pourront rendre impossible l'usage de certains composants électriques et avioniques.



## Prévention à bord des aéronefs

### Parasites dans la radio d'un Piper PA18-150 Super Cub



© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## Prévention à bord des aéronefs

- Par ailleurs, de nombreux parasites peuvent aussi provenir des rampes d'allumage des moteurs à pistons, de leurs échappements ou de leurs magnétos.

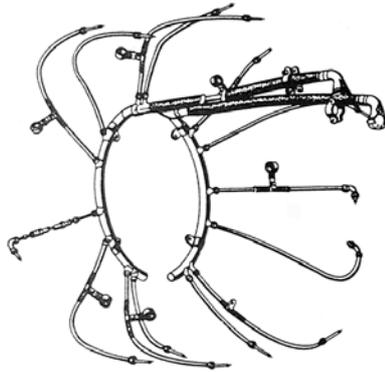


© Département d'avionique

Document à des fins de formation

### Prévention à bord des aéronefs

- Pour éviter les parasites liés à l'allumage des moteurs à pistons :



- Les fils menant aux bougies doivent être blindés et en bon état.
- Le blindage des fils de bougies doit être correctement connecté à la masse.
- Les magnétos doivent être en bon état et déparasités.

### Prévention à bord des aéronefs

- Et ce n'est pas tout ...
- Sur les avions, le néгатif est à la masse en DC.
- En alternatif, c'est le neutre qui est connecté à la masse.



### Prévention à bord des aéronefs

- La carcasse de l'avion est donc un conducteur et obéit aux mêmes lois que celles des conducteurs.
- La plus importante est la loi d'Ohm :



$$V = R \times i$$

### Prévention à bord des aéronefs

- La masse de l'avion n'est donc pas partout au même potentiel.
- Il y a donc apparition de « courants de circulation ».
- Ces courants peuvent causer des phénomènes parasites.



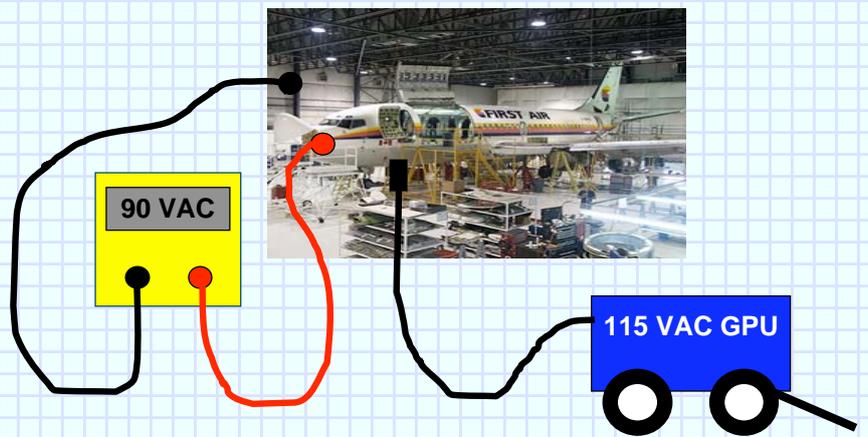
### Prévention à bord des aéronefs

- On ne peut pas connecter les masses n'importe comment.
- On ne mélangera pas les masses AC et DC.
- On évitera les bouclages de masse.



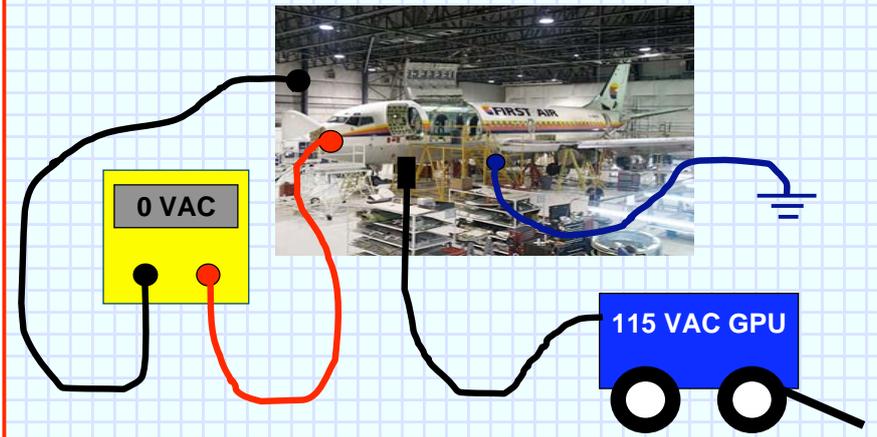
### Prévention à bord des aéronefs

Un technicien reçoit une secousse électrique en touchant simultanément un avion sous tension (115VAC 400Hz) et la structure du hangar.



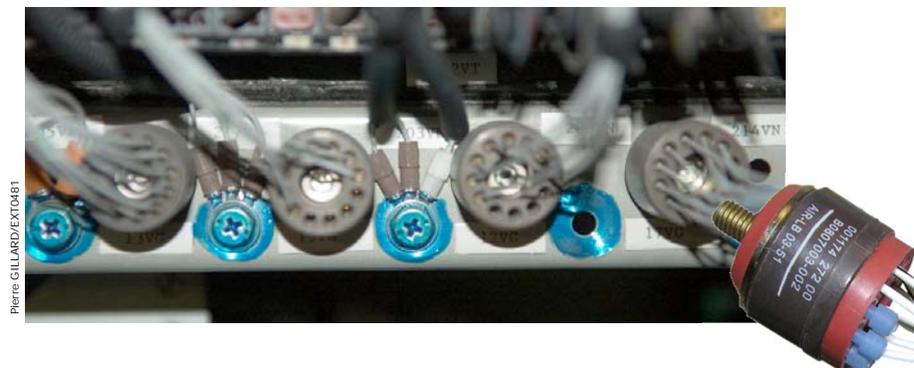
### Prévention à bord des aéronefs

Un technicien reçoit une secousse électrique en touchant simultanément un avion sous tension (115VAC 400Hz) et la structure du hangar.



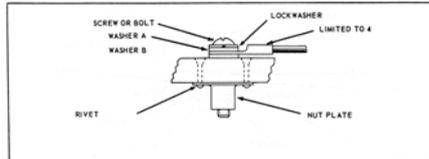
### Prévention à bord des aéronefs

- La réalisation des connexions de masse doit être soignée.
- Afin d'assurer un bon contact avec la masse, toute peinture, revêtement ou saleté devra être enlevé avant l'installation de la connexion.



## Prévention à bord des aéronefs

- Des méthodes strictes sont à appliquer pour la réalisation de connexions de masse :



Aluminum Terminal and Jumper

Structure	Screw or Bolt and Nut plate	Rivet	Lockwasher	Washer A	Washer B
Aluminum Alloys	Cad. Plated Steel	Aluminum Alloy	Cadmium Plated Steel	Cad. plated steel or aluminum	None
Magnesium Alloys	Cad. Plated Steel	Aluminum Alloy	Cadmium Plated Steel	Cad. plated steel or aluminum	None or Magnesium alloy
Steel, Cadmium plated	Cad. Plated Steel	Cor. Resist. Steel	Cadmium Plated Steel	Cad. plated steel or aluminum	None
Steel, Corrosion Resisting	Corrosion Resist. Steel or Cad. Plated Steel	Cor. Resist. Steel	Cadmium Plated Steel	Cad. plated steel or aluminum	Cadmium plated steel

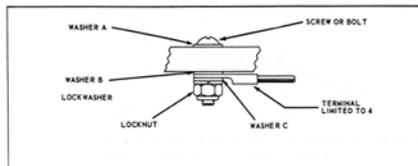
Thinned Copper Terminal and Jumper

Structure	Screw or Bolt and Nut plate	Rivet	Lockwasher	Washer A	Washer B
Aluminum Alloys	Cad. Plated Steel	Aluminum Alloy	Cadmium Plated Steel	Cad. plated steel	Aluminum Alloy
Magnesium Alloys <sup>1</sup>	Cad. Plated Steel	Aluminum Alloy	Cadmium Plated Steel	Cad. plated steel	None
Steel, Cadmium plated	Cad. Plated Steel	Cor. Resist. Steel	Cadmium Plated Steel	Cad. plated steel	None
Steel, Corrosion Resisting	Corrosion Resist. Steel or Cad. Plated Steel	Cor. Resist. Steel	Cadmium Plated Steel	Cad. plated steel	None

<sup>1</sup> Avoid connecting copper to magnesium.

## Prévention à bord des aéronefs

- Des méthodes strictes sont à appliquer pour la réalisation de connexions de masse :



Aluminum Terminal and Jumper

Structure	Screw or Bolt and Nut plate	Lockwasher	Washer A	Washer B	Washer C
Aluminum Alloy	Cad. Plated Steel	Cad. Plated Steel	Cad. plated steel or aluminum	None	Cad. plated steel or aluminum
Magnesium Alloy	Cad. Plated Steel	Cad. Plated Steel	Magnesium Alloy	None or Magnesium Alloy	Cad. plated steel or aluminum
Steel, Cadmium plated	Cad. Plated Steel	Cad. Plated Steel	Cad. Plated Steel	Cadmium plated steel	Cad. plated steel or aluminum
Steel, Corrosion Resisting	Corrosion Resist. Steel or Cad. plated steel	Cad. Plated Steel	Corrosion Resisting Steel	Cadmium plated steel	Cad. plated steel or aluminum

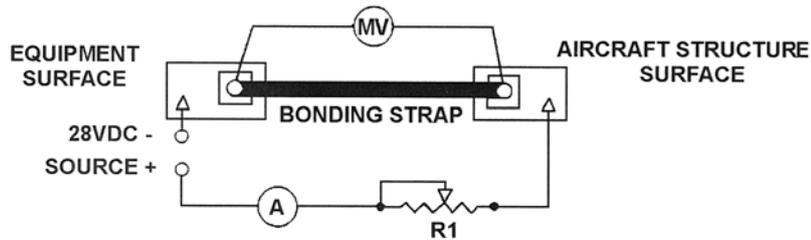
Thinned Copper Terminal and Jumper

Structure	Screw or Bolt and Nut plate	Lockwasher	Washer A	Washer B	Washer C
Aluminum Alloy	Cad. Plated Steel	Cad. Plated Steel	Cad. plated steel	Aluminum alloy	Cad. plated steel
Magnesium Alloy <sup>1</sup>	Cad. Plated Steel	Cad. Plated Steel	Cad. plated steel	None	Cad. plated steel
Steel, Cadmium plated	Cad. Plated Steel	Cad. Plated Steel	Cad. plated steel	None	Cad. plated steel
Steel, Corrosion Resisting	Corrosion Resist. Steel or Cad. Plated Steel	Cad. Plated Steel	Corrosion Resisting Steel	None	Cad. plated steel

<sup>1</sup> Avoid connecting copper to magnesium.

## Prévention à bord des aéronefs

- L'AC43.13-1A recommande une méthode de vérification des liaisons équipotentielles de masse (11-188) :



Adjust R1 rheostat for 10 amperes on ammeter.  
Record the millivolt reading.

Example: Millivolt reading is 30 MVS

$\frac{30 \text{ MVS}}{10 \text{ AMPS}}$

**3 MILLIOHMS RESISTANCE**

**Maximum !**

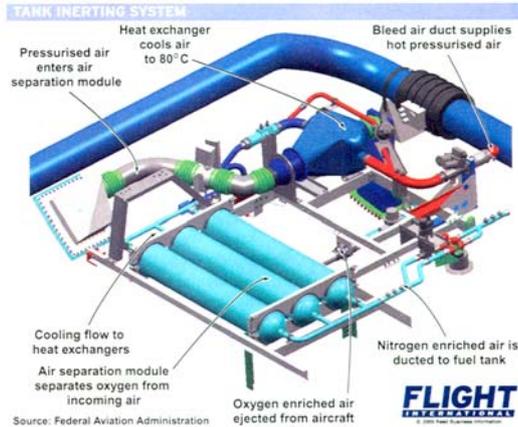
## Prévention à bord des aéronefs

- Un des principaux dangers liés à l'apparition d'un étincelle d'origine statique est l'inflammation du carburant ou de vapeurs de carburant :
- À bord de l'aéronef.
- Durant les opérations de transfert de carburant.



## Prévention à bord des aéronefs

- Des mesures sont prises dans les avions de transport commerciaux en ce qui concerne les réservoirs de carburant :



## Prévention à bord des aéronefs

- Question :



Quelles sont les deux principales raisons pour lesquelles on suggère toujours de faire le plein d'un aéronef dès son retour au sol ?

1. Pour éviter le développement de vapeurs de carburant dans un volume vide.
2. Pour limiter la condensation et la formation d'eau dans un réservoir.

## Prévention à bord des aéronefs



- Un point délicat est l'avitaillement en carburant et le transvasement de carburant.
- Le véhicule de livraison étant sur roues, il est également soumis à l'électricité statique.
- Il faudra donc relier la masse du véhicule à celle de l'aéronef AVANT tout transfert de carburant.

## Prévention à bord des aéronefs



Pierre GILLARD/EXT705



Pierre GILLARD/EXT696

- Des procédures très strictes existent quant à l'avitaillement en carburant d'aéronefs ou la vidange de réservoirs.
- N'effectuez pas d'opérations d'avitaillement ou de vidange sans avoir reçu une formation appropriée et sans avoir été informés des mesures de sécurité.

## Prévention à bord des aéronefs



## Prévention à bord des aéronefs



## Prévention à bord des aéronefs



Pierre GILLARD/EX106495



Pierre GILLARD/EX107033

Faut-il encore relier le camion à la terre ?

Ce n'est plus nécessaire car :

- On a constaté que le courant électrique entre le camion et la terre dû à l'électricité statique était négligeable une fois l'avion et le camion reliés par une liaison équipotentielle.
- Le JET A-1 est beaucoup plus stable que d'autres carburants tels le 100LL ou le JET B et présente moins de risques.

## Prévention à bord des aéronefs

• Étude de cas :



Pierre GILLARD/002217



structure de la tablette (déformée)  
dossier du siège (déformé)  
réservoir souple de carburant

siège du banc (déformé)  
pârtie avant



Conduite d'alimentation  
Zone calaminée  
Conduite de vidange  
Présence de marques d'abrasion et de surchauffe sur les conduits  
Raccords de tuyauterie anodisée  
Pompe d'appoint arrière

Photos: Transports Canada

## Prévention à bord des aéronefs

• *Question :*

Qu'en est-il des problèmes d'électrostatique lorsque vous effectuez le plein de votre véhicule ?



## La foudre



- Un phénomène potentiellement dangereux pour un aéronef en vol est la foudre.
- On estime qu'un avion de ligne est foudroyé en moyenne toutes les 1000 ou 1500 heures de vol.

## La foudre

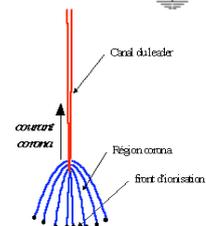
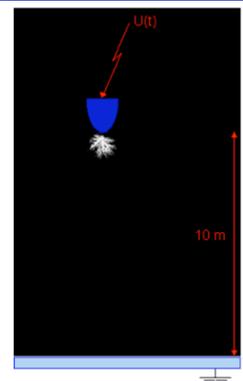
- Si chaque seconde autour de la Terre, on peut compter entre 50 et 100 décharges électriques atmosphériques, la majorité d'entre elles ont lieu d'un nuage à l'autre.
- Ces phénomènes se situent entre 15000 et 30000 pieds d'altitude.
- Ils représentent donc un risque non négligeable pour les avions.

Vidéo



## La foudre

- La foudre est un gigantesque arc électrique d'une puissance phénoménale.
- Cet arc est créé entre deux zones chargées électriquement de manière intense et opposée.
- Il s'agit d'un claquage disruptif de l'air comme déjà évoqué.
- L'exemple ci contre représente une simulation réalisée en laboratoire avec une tension de 2 000 000 de volts.



## La foudre

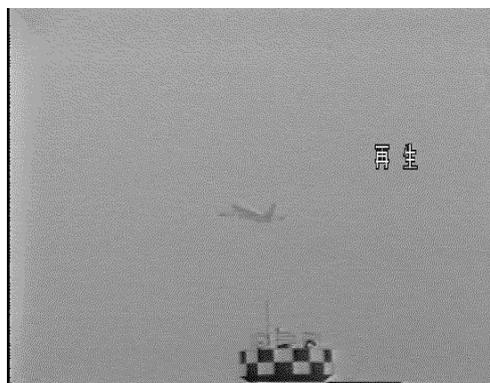
- Lorsque cet arc trouve sur son chemin un conducteur électrique lui permettant de se propager plus facilement que dans l'air (bon isolant), il l'empruntera.
- C'est le principe des paratonnerres ou parafoudres sur les bâtiments.



Screensavershot.com

## La foudre

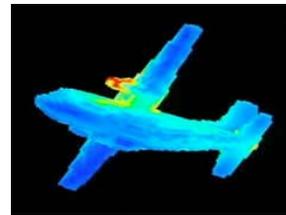
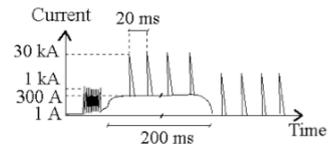
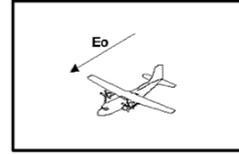
- Un aéronef en vol peut offrir un passage plus facile à la foudre.
- Dans 90 % des cas, ce sera même l'avion qui déclenchera l'arc électrique.
- L'arc électrique circulera par l'aéronef.



## La foudre

- Le courant électrique de l'arc est intense.
- Il s'établit en plusieurs phases :

- Lorsque l'arc est déclenché, il apparaît deux champs électriques opposés amenant à l'établissement du « canal du leader ».
- Le courant est constitué d'une série de brèves impulsions avant d'atteindre un niveau continu de plusieurs centaines d'ampères.
- Par la suite, des impulsions pouvant atteindre jusqu'à 100 kA se succèdent.



## La foudre

- Étant donné que le courant est intense, certains points de passage plus faibles pourront éventuellement fondre ou être soudés.



Pierre GILLARD/EXT0562

- L'arc électrique pourrait aussi emprunter des sections de câblage du système électrique de bord et provoquer des gros dégâts aux équipements électriques et avioniques.
- La foudre circulant dans l'aéronef pourrait provoquer une étincelle au niveau du système de carburant et provoquer une explosion.

## La foudre

- La foudre pourra aussi vaporiser la résine des sections réalisées en matériaux composite.
- Ceci représente un déficit pour les avions entièrement réalisés en composite ou pour les pales d'hélicoptères faites de fibres de carbone ou en fibres de verre, par exemple.



## La foudre

- L'arc pénétrera toujours dans l'avion par un point pour ressortir par un autre.



Photo Bombardier



Photo Bombardier

## La foudre

- Dommages causés par la foudre sur un Falcon 50 :



## La foudre

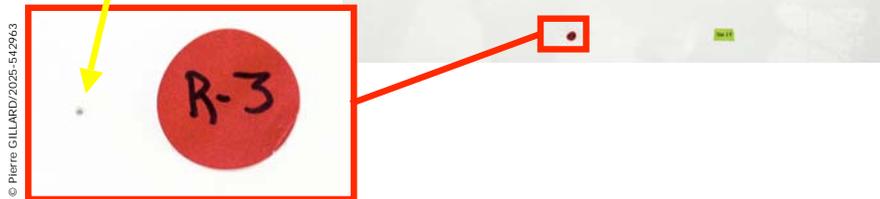
- Dommages causés par la foudre sur le radôme d'un MD82 :



## La foudre

- Dommages causés par la foudre sur le fuselage d'un Airbus A220-300 :

Impact minuscule



© Pierre GILLARD/2025-542963

© Pierre GILLARD/2025-542965

## La foudre

- Un aéronef conventionnel, étant métallique, fait office de cage de Faraday pour les passagers.
- Les passagers n'ont donc rien à craindre comme effet direct de la foudre.



www.sandis.gov

## La foudre



- Suivant le chemin emprunté par la foudre lors de son passage au travers de l'aéronef, les conséquences peuvent être tant nulles que catastrophiques.
- Actuellement, lors de l'étude de nouveaux avions, le problème de la foudre est envisagé dès la conception afin d'en minimiser les effets.

## La foudre

- Chaque fois qu'un avion est frappé par la foudre, une inspection rigoureuse est requise avant le vol suivant.
- Il est intéressant de noter qu'au cours des 40 dernières années, aucun accident aérien n'a été causé directement par la foudre.



## La foudre

### Le Boeing 787 Dreamliner



Air Canada

- Boeing a opté pour une structure réalisée entièrement en matériaux composites.
- Ceci impose de trouver des solutions pour se prémunir des dangers liés à la foudre du fait de la faible conductivité électrique de ces matériaux.

## La foudre

### Le Boeing 787 Dreamliner

- Boeing a retenu les options suivantes :



Boeing

- Disperser le plus possible l'énergie de la foudre afin d'éviter des concentrations destructrices à certains points critiques.
- Blinder efficacement les instruments de bord et l'avionique afin d'éviter les dégâts dus aux champs magnétiques intenses.

## La foudre

### Le Boeing 787 Dreamliner

- Boeing a retenu les options suivantes :



- Le courant électrique passant par les rivets et les attaches d'éléments de structure peut provoquer des arcs électriques au niveau de l'espace vide entre le rivet ou l'attache et les éléments qu'ils retiennent ensemble; de nouvelles méthodes d'assemblage permettent d'améliorer les contacts.

## La foudre

### Le Boeing 787 Dreamliner

- Boeing a retenu les options suivantes :



- Tout espace à l'intérieur des ailes où le revêtement est fixé sur des longerons peut créer une dispersion d'électrons à cet endroit en cas de foudre (*Edge Glow Effect*); de l'enduit non conducteur ou de la fibre de verre isolante est appliqué à ces endroits.
- Les réservoirs de carburant sont remplis d'azote au fur et à mesure qu'ils sont vidés afin d'éviter les risques d'étincelle.

## La foudre

### Le Boeing 787 Dreamliner

- C'est donc un réel défi technologique que Boeing s'est fixé !



© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## Équipements sensibles à l'électricité statique



- Certains équipements électroniques sont sensibles à l'électricité statique.
- Il s'agit, en général, de cartes électroniques.
- Le simple fait de les manipuler avec les doigts peut les endommager de manière irréversible.
- Les équipements sensibles sont identifiés par l'acronyme « ESD » signifiant « *Electro Static Discharge* »
- Des étiquettes appropriées indiquent qu'un équipement est sensible aux ESD.

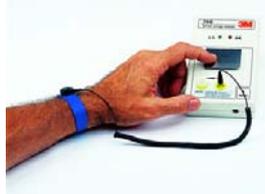
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## Équipements sensibles à l'électricité statique

### Mesures à prendre lors de la dépose d'un équipement

- Suivre les recommandations du constructeur (CRJ, Boeing 757, ...)
- Utiliser les bracelets antistatiques lorsque requis.
- Vérifier préalablement le bon fonctionnement du bracelet (une fois par jour au minimum).



Photos: 3M et Pierre GILLARD/EXT 01 21

## Équipements sensibles à l'électricité statique

### Mesures à prendre lors de la dépose d'un équipement

- Ne jamais toucher aux connecteurs avec ses doigts.
- Couvrir les connecteurs avec les protections appropriées.



Photos: Pierre GILLARD/EXT 01 27-01 30

## Équipements sensibles à l'électricité statique

### Mesures à prendre lors du transport d'un équipement

- Utiliser les contenants appropriés.
- Vérifier la présence d'un étiquetage ESD.

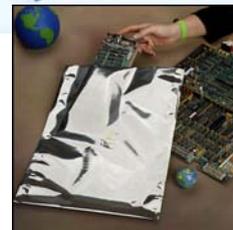


Photos 3M

## Équipements sensibles à l'électricité statique

### Mesures à prendre lors de l'emballage ou du déballage

- Veiller à ce que tout ce qui est en contact avec l'équipement soit connecté à la terre par liaisons équipotentielles.

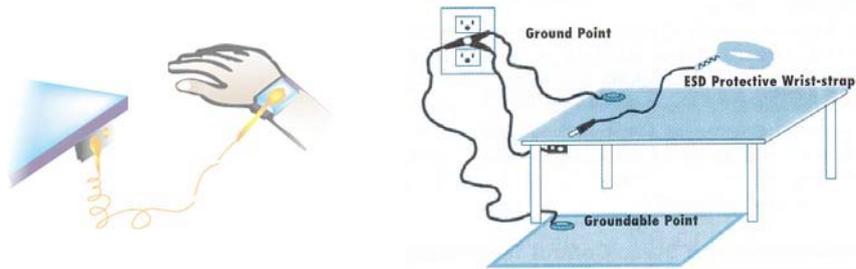


Photos 3M

## Équipements sensibles à l'électricité statique

### Mesures à prendre lors de la réparation ou d'un test

- Suivre les [recommandations du fabricant](#).
- Travailler sur un [tapis antistatique](#).
- Utiliser les [bracelets](#) et autres [liaisons équipotentielles](#) vers la terre.



## Équipements sensibles à l'électricité statique

### Mesures à prendre lors de la réparation ou d'un test

- Suivre les [recommandations du fabricant](#).
- Travailler sur un [tapis antistatique](#).
- Utiliser les [bracelets](#) et autres [liaisons équipotentielles](#) vers la terre.



## Équipements sensibles à l'électricité statique

### Mesures à prendre lors de l'entreposage d'un équipement

- Entreposer les équipements sensibles dans un environnement antistatique.



Photos: Pierre GILLARD/EXT 01 25-01 28-01 29

## Équipements sensibles à l'électricité statique

### Mesures à prendre lors de l'entreposage d'un équipement

- Il faut aussi veiller à ne pas ranger des équipements sensibles à proximités de sources électromagnétiques, électrostatiques et radioactives.

## Équipements sensibles à l'électricité statique

### Mesures à prendre dans certains cas spécifiques



Photo: 3M



© Département d'avionique

Document à des fins de formation

## Questionnaire 2



© Département d'avionique

Document à des fins de formation



*Merci de votre attention*