The image features a dramatic, stormy sky. The upper portion is filled with dark, swirling clouds in shades of deep red, orange, and black. The lower portion is dominated by several bright, jagged lightning bolts striking downwards, their light glowing in a bright yellow and orange hue against the dark background.

Thor vs. la Masse

Avant-propos

- Cette présentation est le fruit de recherches entreprises dans le cadre de la réalisation d'un centre expérimental de télécommunications d'urgence.
- Un des objectifs consiste à se doter d'un site capable de demeurer en opération malgré la menace de la foudre et de survivre à une frappe sans subir de dommage aux équipements

Les Transitoires

- La foudre n'est pas l'unique source de transitoires sur le secteur ou la masse mais la plus destructrice et la moins bien comprise. Les autres sources sont:
- Fautes de haute-tension (à la masse ou avec la basse tension)
- Pannes incluant relèvements sur groupe électrogène
- Délestage et commutation de condensateurs
- Activité industrielle

La Foudre

Décharges d'électricité statique

- Avec le sol
- À l'intérieur d'un système de nuages
- Entre des systèmes de nuages

Origines

QUOI

- Séparation de charges positives des négatives par des phénomènes météorologiques.

COMMENT

- Déplacement rapide d'air et de particules (pluie, neige, grêle ou poussières) à l'intérieur des nuages.

Polarité

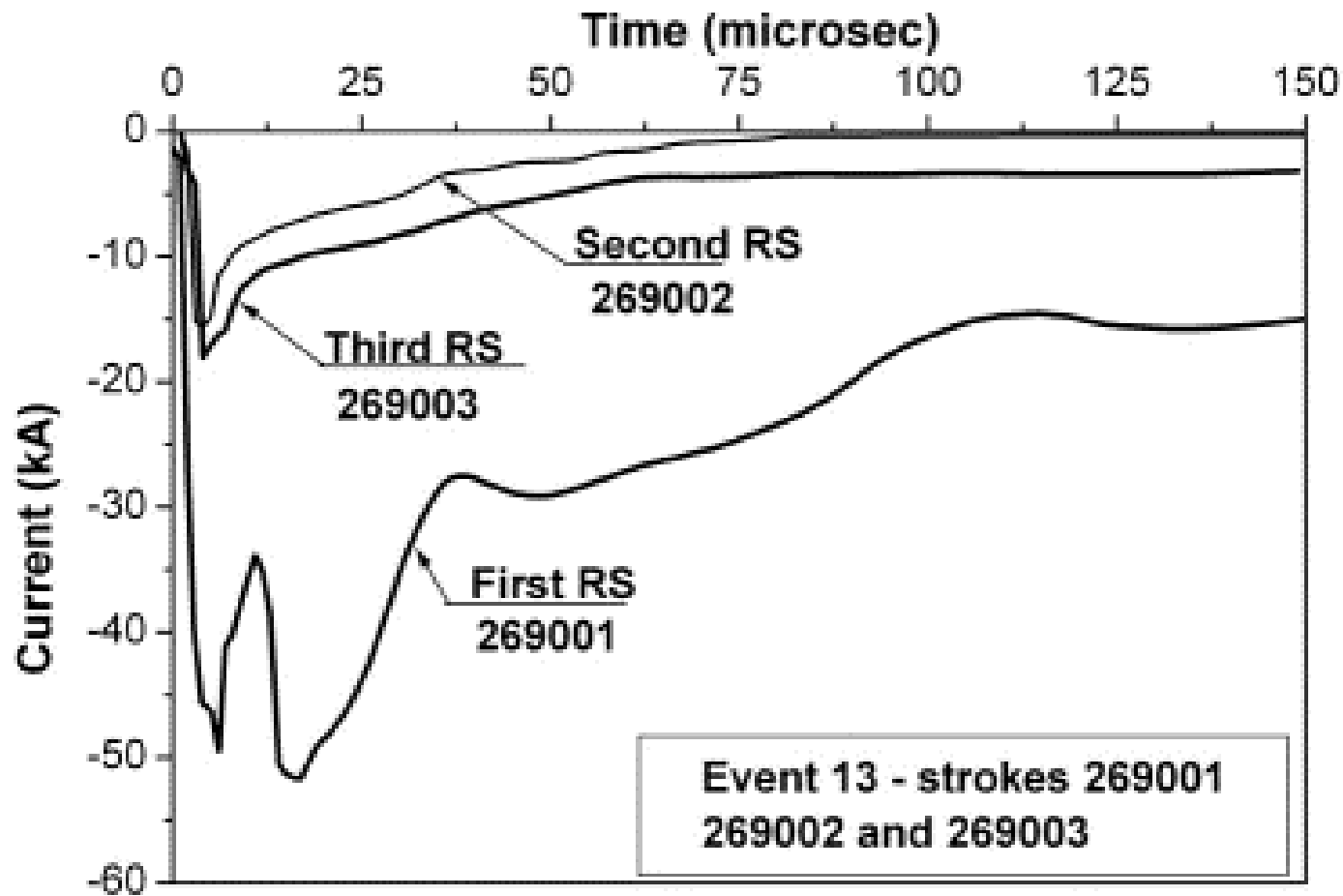
- Positive ou négative.
- Les négatives contiennent généralement plusieurs arcs consécutifs tandis que les positives un seul arc mais de durée plus longue.

Intensité

- Varie selon la latitude. Peut atteindre 200 KA dans les régions tropicales et subtropicales.
- Excède rarement 50 KA à nos latitudes (la moyenne est de 7 KA)
- La durée totale de l'évènement est inférieure à 1 ms par frappe.

Fréquence des Frappes

- Au sud du Québec, la moyenne perceptible à l'oreille est de 20 à 30 frappes par année (NOAA/Env. Canada).
- Il se produit ici, une moyenne de 7 frappes dans le Km² que vous habitez (IEEE/VAISALA).



Énergie Spectrale

- L'énergie spectrale fondamentale de la rampe initiale de la décharge n'excède pas 1,5Mhz.
- Les frappes à proximité peuvent affecter le spectre jusqu'en UHF

Risque

- Varie selon l'environnement et la hauteur du pylône par rapport aux autres "cibles" environnantes.
- En moyenne, une tour de 66' va être frappée une fois par 14 ans. Si elle est située sur une crête et la seule cible d'intérêt, le risque augmente à une fois par 5 ans. (NFPA 780/ARRL).

Défis

- Le Code Canadien de l'Électricité et le National Electrical Code/NFPA (USA) ne se préoccupent pas de la protection des appareils contre la foudre.
- Seule la mise à la masse des immeubles (et structures) fait l'objet de réglementation nationale.

Défis (suite)

Des normes visent la qualité de l'énergie et/ou les méthodes de mise à l'épreuve de modules ou composants destinés au conditionnement de l'énergie destiné à alimenter des équipements à mission critique tel que:

- **911, Sécurité publique, santé publique, etc.**
- **Pétrochimie, production et transport d'énergie**
- **Télécom (dignes de ce nom)**
- **Aviation civile et Transport Maritime**
- **Forces Armées, etc.**

Défis (suite)

- La IEEE est le seul organisme ayant publié un guide à l'intention de consultants, ingénieurs, maître-électriciens, électroniciens et architectes concernant les mesures de prévention des dommages aux appareils et équipements par des transients du secteur et les décharges de la foudre.

Stratégie Anti-Frappe

Dévier vers la masse toute surtension sur les conducteurs avant qu'ils ne pénètrent dans le cercle de sécurité

Dissiper de la façon la plus efficace possible l'énergie déviée à l'aide d'un plan de masse sans résistance ou réactance.

Dévier vers la masse au point de consommation, les surtensions résiduelles qui auront traversé le cercle ou pris naissance à l'intérieur (EMP).

La Frappe Indirecte

Couplage par Impulsion Électromagnétique

- À proximité, par couplage sur les conducteurs entrant dans la station ou à l'intérieur de la station.
- Une frappe de 200Ka à un Km de distance peut induire jusqu'à 70v/m sur des conducteurs non blindés.

Frappe Indirecte (suite)

- Une frappe en dedans de 10m peut générer une Impulsion EM suffisamment intense pour endommager l'équipement électronique non-blindé (sans boîtier en métal) même s'il n'est pas branché (encore dans sa boîte d'origine).
- -Tout matériel conducteur excédant 2m doit être mis à la masse ou blindé sinon Il peut tuer lors d'une telle IEM

Crête de potentiel de masse

Ground Potential Rise

Le potentiel de la masse s'élève à plusieurs dizaines de KV à partir du point de frappe et chute rapidement à mesure que l'on s'y éloigne ($V/\text{carré de la distance}$).

Crête de potentiel de masse

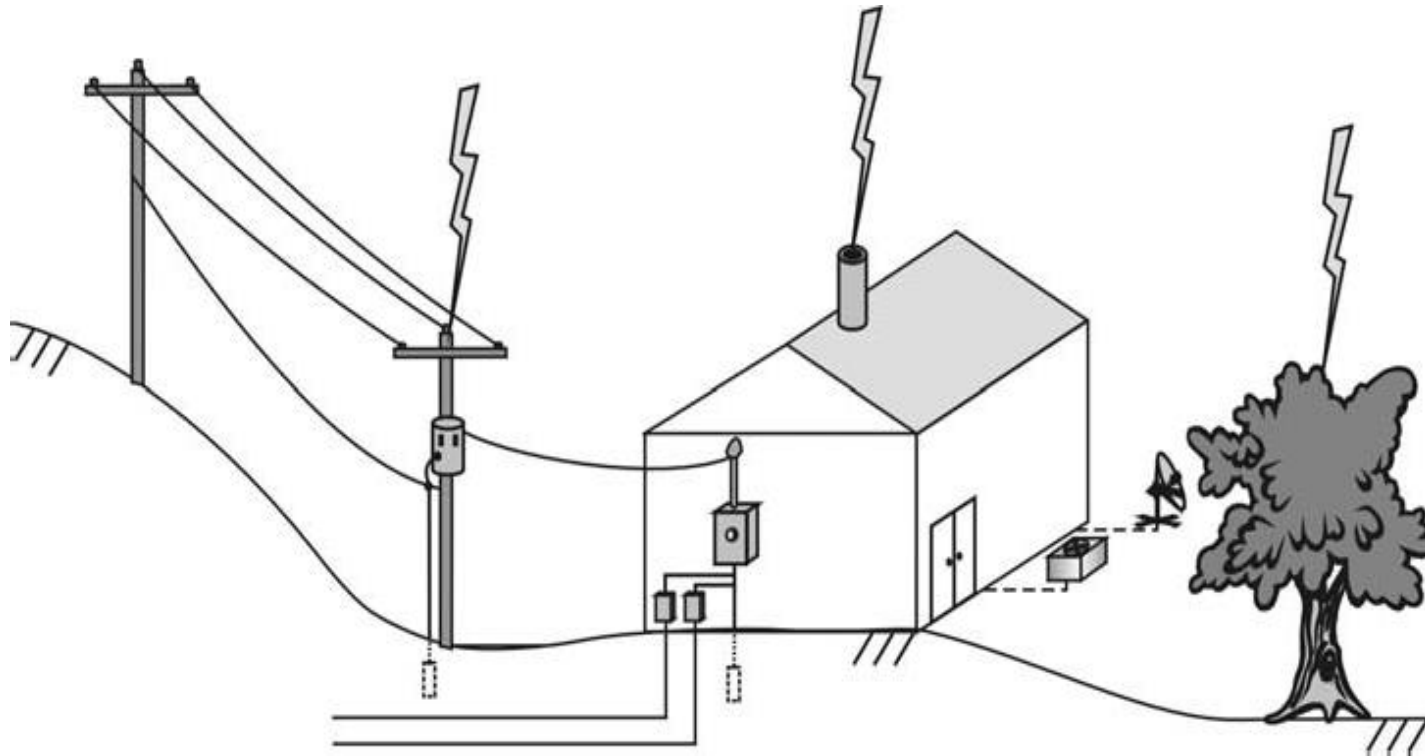
- Ne dure que quelques microsecondes mais elle peut être détectée à parti d'instruments sensibles jusqu'à 100Km du lieu d'impact.

La SOPFEU de la Haute Mauricie utilise ce phénomène pour géo localiser les points de frappe et en estimer l'amplitude pour évaluer le risque de déclenchement d'un feu de forêt

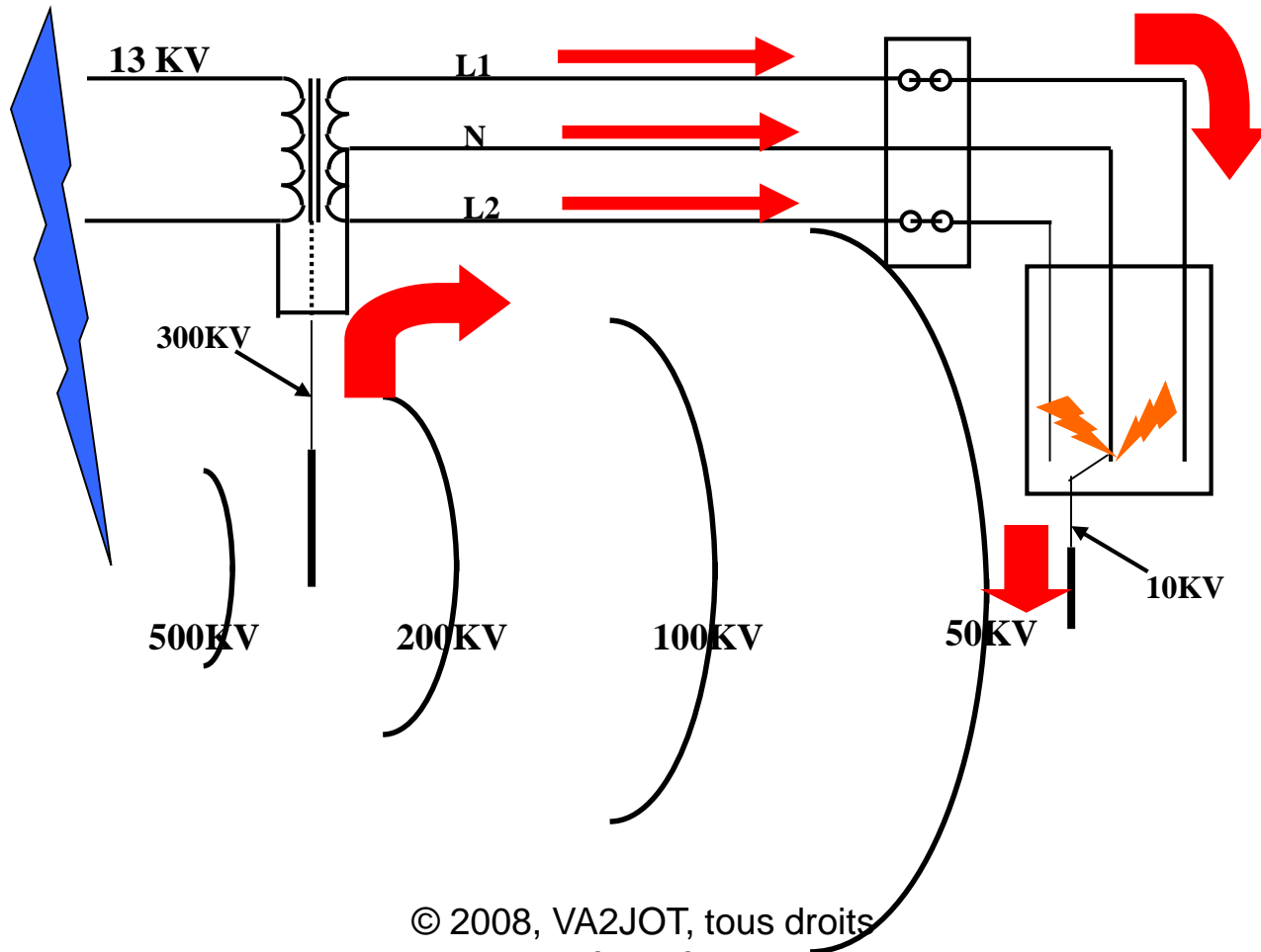
Crête de potentiel de masse (suite)

- Lors d'un effet de sol affectant un réseau d'appareils interconnectés, des courants destructeurs risquent d'y circuler si tous ces appareils ne sont pas reliés (sans résistance ou réactance) à la même masse.

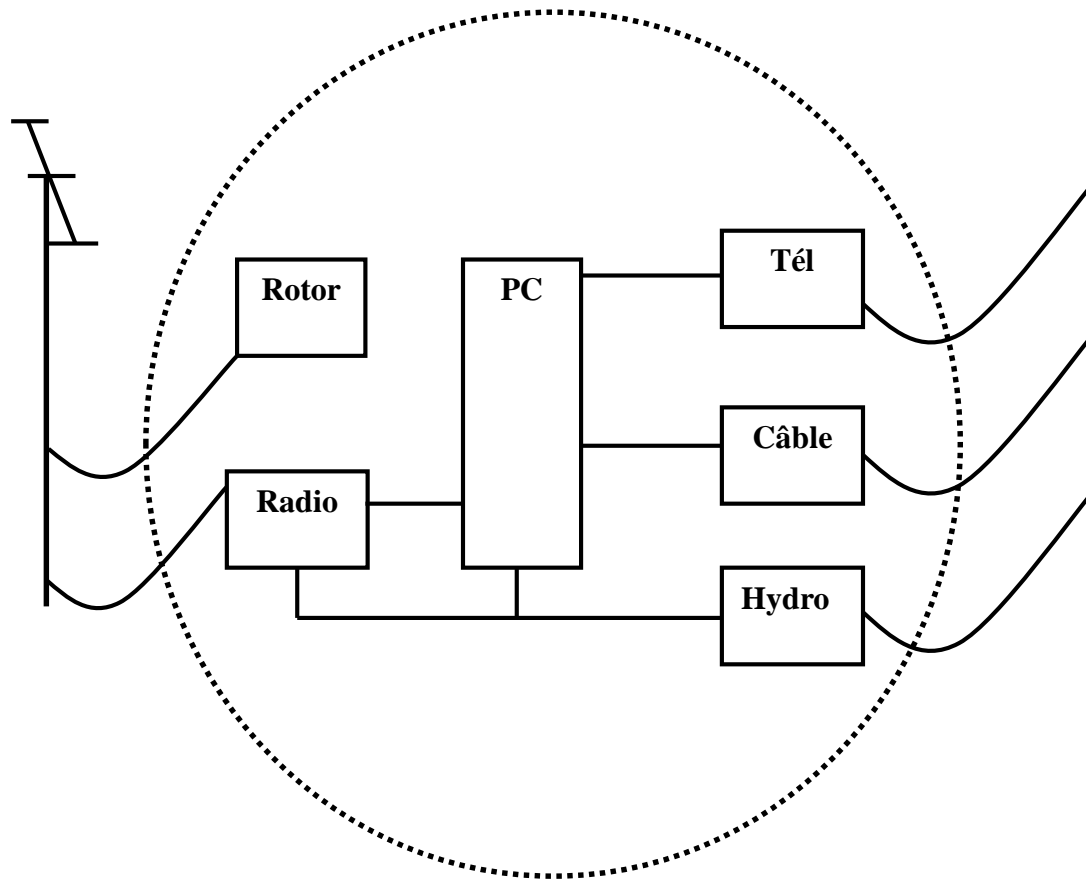
Crête de potentiel de masse (suite)



Crête de potentiel de masse (suite)

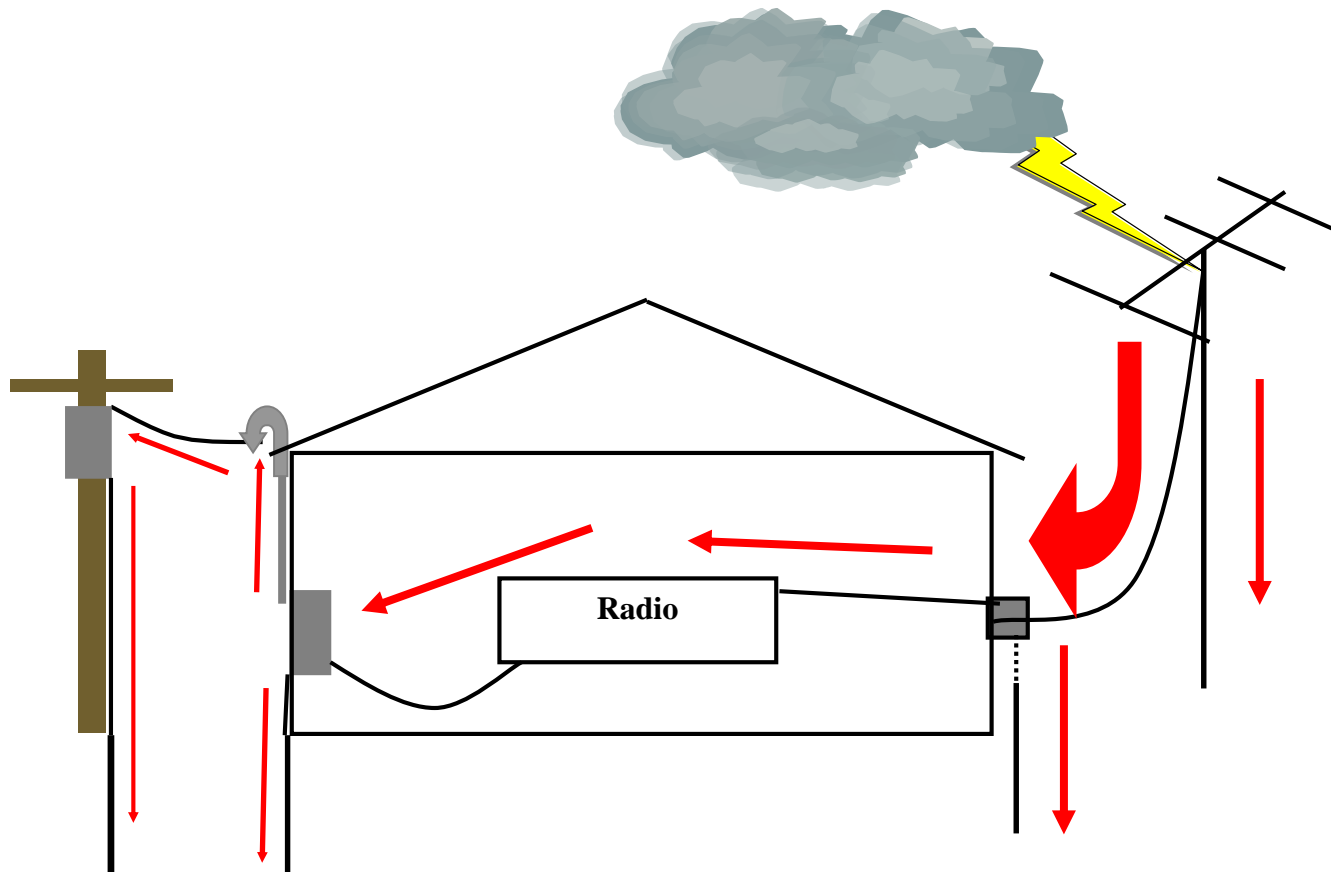


Le Cercle de Sécurité



Le Cercle de Sécurité

Trouvez L'erreur



Le Cercle de Sécurité

Tout conducteur qui traverse le cercle de sécurité de la station doit obligatoirement être protégé contre les surtensions.

- Lignes de TX coaxiale et symétrique
- -Ligne de contrôle (rotor, commutateur d'antennes)
- -Alimentation électrique (Hydro)
- -Ligne téléphonique, d'alarme, Câble TV

Le Cercle de Sécurité

Tout conducteur qui traverse le cercle de sécurité de la station doit obligatoirement être protégé contre les surtensions.

AVEC QUOI?

- Des MOV (metal oxyde Varistors) aussi connus sous le nom de TVSS (transient voltage surge supressor).

Le Cercle de Sécurité

- Tous les conducteurs de masse à l'intérieur du cercle de sécurité doivent être raccordés à un point commun.

Question:

Combien avez-vous investi dans la mise à la masse de votre station?

<\$100 <\$500 <\$1000 >\$1000

Mise à la Masse de la Station

Représente une partie importante de l'investissement dans l'installation d'une station

La plupart des radio amateurs y investissent moins de \$100.

Mise à la Masse de la Station

Objectif Principaux Décroissants

- Eliminer le risque d'électrocution et blessures aux personnes
- Eliminer le risque d'incendie
- Gérer le risque de destruction des équipements (coûts de protection vs. remplacement en cas de perte)

Mise à la Masse de la Station

Résistance de la Masse

- Classe A (Domestique) <25 Ohms
- Classe B (Sites Télécom) <5 Ohms
- Classe C (Systèmes Critiques) <1 Ohm

Mise à la Masse de la Station

Décider du degré de disponibilité de la station en temps d'orages:

- Suspension de l'activité (classe A)
- Affecté pendant la frappe (classe B)
- Inaffecté pendant la frappe (classe C)

Mise à la Masse de la Station

Suspension de l'activité (classe A)

- Implique forcément un protocole rigoureux de débranchement de tout les équipements avant de quitter les lieux
- Incompatible avec notre projet d'implanter une station remote.
- Risque d'oubli ou de négligence \$\$\$\$

Moyens de Protection

- Une masse unique à réactance pratiquement nulle
- Ecrêteurs de surtensions
- Préserver la différence de potentiel opérationnel relative à la masse de tous les éléments de la station.

Moyens de Protection

- La faible résistance (et réactance) de la masse est le secret
 - Essentielle pour réduire les risques de courants de masse entre les éléments qui s'y raccordent.
 - Essentielle pour dissiper l'excès d'énergie

Moyens de Protection

- EX: masse d'un Ohm, décharge de 1KA (1,000 ampères) $E=IR$, $E=1000 \times 1$, $E=1KV$
- Un potentiel de 1,000 volts peut apparaitre entre les châssis d'appareils reliés à une masse s'il existe une résistance de 1 Ohms entre les deux points de raccords à cette masse (calcul simpliste mais utile à la compréhension des enjeux).
 - Ca peut tuer l'opérateur
 - Ca peut mettre le feu
 - Ca peut détruire les appareils

L'Ennemi #1

La réactance des conducteurs de masse

- Compromet l'efficacité d'un réseau de mise à la masse mal réalisé même si la résistance du système au C.C. est inférieure à 1 Ohm.
- Tout conducteur est inductif
- L'inductance d'un conducteur nu sous terre est "shuntée" par la conductance du sol.

Prévention de la Réactance

Cloison de masse

- Point de convergence de l'ensemble des conducteurs du réseau de masse (Hydro, Téléphone, Pylône, etc.)
- Point de mise à la masse et protection des entrées des câbles coaxiaux et lignes de contrôle (rotor, commutateur d'antenne)

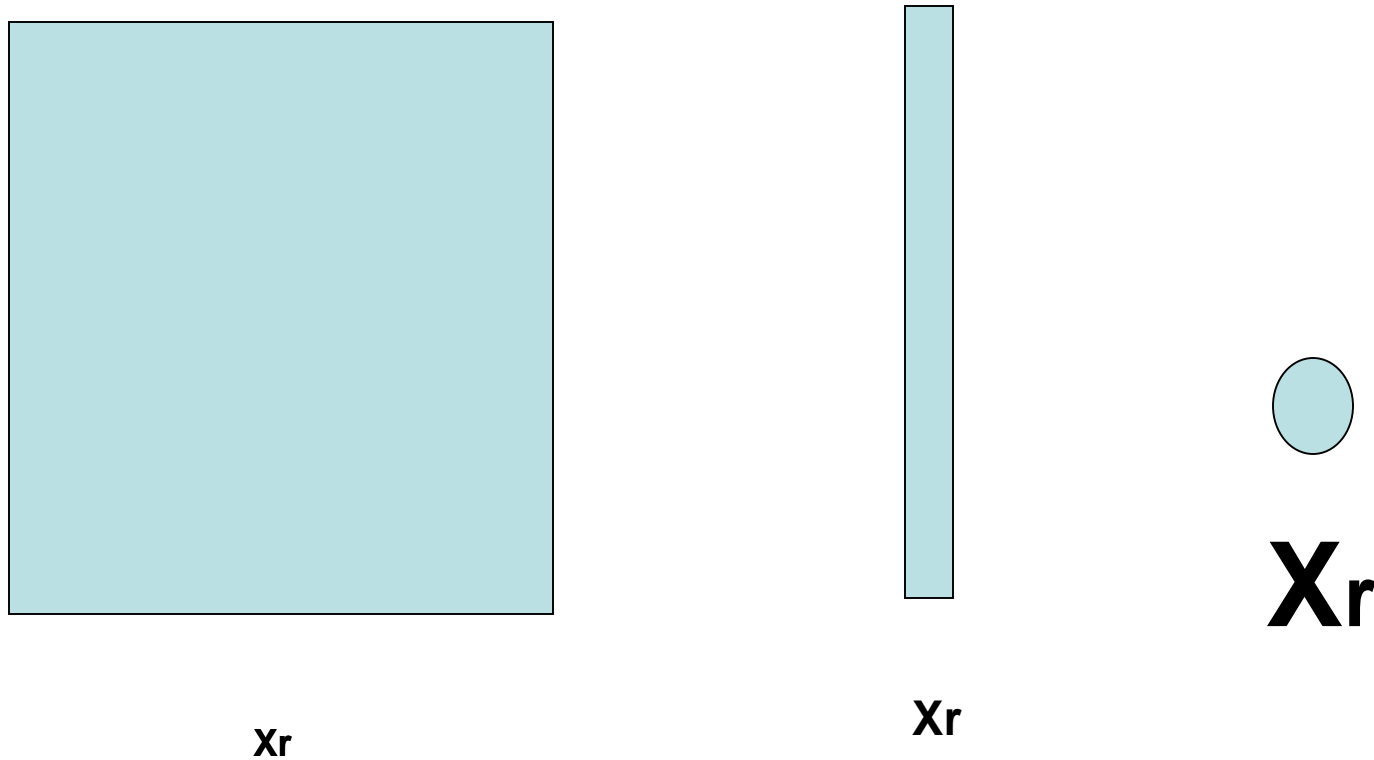
Prévention de la Réactance

Tout conducteur est inductif

- Tout conducteur portant un courant crée un champ magnétique. Il possède par conséquent, une inductance.
- L'inductance est fonction de la section et de la longueur du conducteur.
- Un conducteur ayant un grand rapport Section/Longueur a peu d'inductance.

Prévention de la Réactance

Cloison de masse



Prévention de la Réactance

Cloison de masse

- Une plaque n'a pas de réactance mesurable
- Un ruban possède peu de réactance
- Une tige (bus bar) possède presque autant de réactance qu'un câble.
- Un câble est le plus réactif de tous les conducteurs de raccord.

Prévention de la Réactance

- Proscrire les plis serrés sur les câbles de masse
 - Arc de courbure supérieur à 20cm
 - Un ruban est mieux qu'un câble de même section
 - Plus la course est longue, plus ça prend du gros calibre* (rapport section/longueur).

** Attention, doubler la section n'abaisse l'inductance que de 15%*

Prévention de la Réactance

Réseau de masse du pylône

- Ajouter des radiales enterrées (à 18 po) avec de tiges de masse au bout réduit la réactance de la masse,
- Tiges de masse de 10' à tous les 20' sur les longues courses
- Amender le sol pour en augmenter la conductance (sels d'Epsom).

Masse du Pylône

- La qualité de la masse des pylônes d'antennes commerciaux est régie par ANSI/EIA/TIA-222
- La version G (jan 2006) renforce les normes concernant le tiges de mise à la masse.
- Passe de 3 à 6 tiges minimum avec espacement minimum de 20' entre chacune (de 10')

Masse du Pylône

- Tiges de 5/8" x 10' min. raccordées avec du 2/0 solide au minimum.
- Trois raccords symétriques de conducteurs de masse au pylône minimum
- Résistance du système de masse inférieure à 10 Ohms (méthode IEEE142-1991)

Le Paradigme du Cuivre

- ANSI/TIA/EIA222 recommande depuis 2006 que les nouvelles constructions de pylônes n'utilisent plus de Cu enfoui à proximité d'acier galvanisé
- Deux affaissements de pylônes de >1000' en Louisiane et au Dakota nord avec pertes de vies ont été attribués à une corrosion prématurée de la base de la tour dans le béton et à des ancrages de haubans à cause de la proximité de tiges et fils de cuivre enfouis.

Le Paradigme du Cuivre

- L'effet galvanique Cu-Zn est néfaste pour le Zn (sacrifié)
- L'acier galvanisé convient en autant qu'elle offre la même conductance que le Cu. Choisissez votre calibre en conséquence.
- Le Cu non-enfoui n'est pas en cause
- Toujours utiliser un métal de transition bimétallique entre le Cu et le Zn (acier inox)

Résistivité du Sol

• Humus / terreau	25 Ohms/m
• Argile	33
• Argile / sable	43
• Ardoise / schiste	55
• Terre sablonneuse	300
• Sable & gravier	800
• Granit	1000
• Gravier + concassé	2585
• Pierre à chaux	5000

Amender le Sol

- Là où le sol est trop résistif pour donner la conductivité de masse désirée, on peut:
- Doper le sol avec des sels d'Epsom
- Avoir recours aux tiges de masse électrolytiques (tuyau d'acier inox troué rempli de sels)

ATTENTION!

- Les sels d'Epsom abaissent le Ph (ions SO₄) ça augmente le taux de corrosion.

Les Écrêteurs

Tour d'Horizon

Les Écrêteurs

- Semi-conducteurs conçus pour dériver vers la masse l'excédent de tension.
- -Varistors à oxyde de métal (MOV's) (> 140V)
- -Diodes à Avalanche au Silicone (SAV's) basse tension et courants

Les Écrêteurs

Types d'Écrêteurs

- Écrêteurs simple
- Hybrides (ajout d'un filtre RF)

Les Écrêteurs

Catégories d'Écrêteurs (IEEE C-62.41)

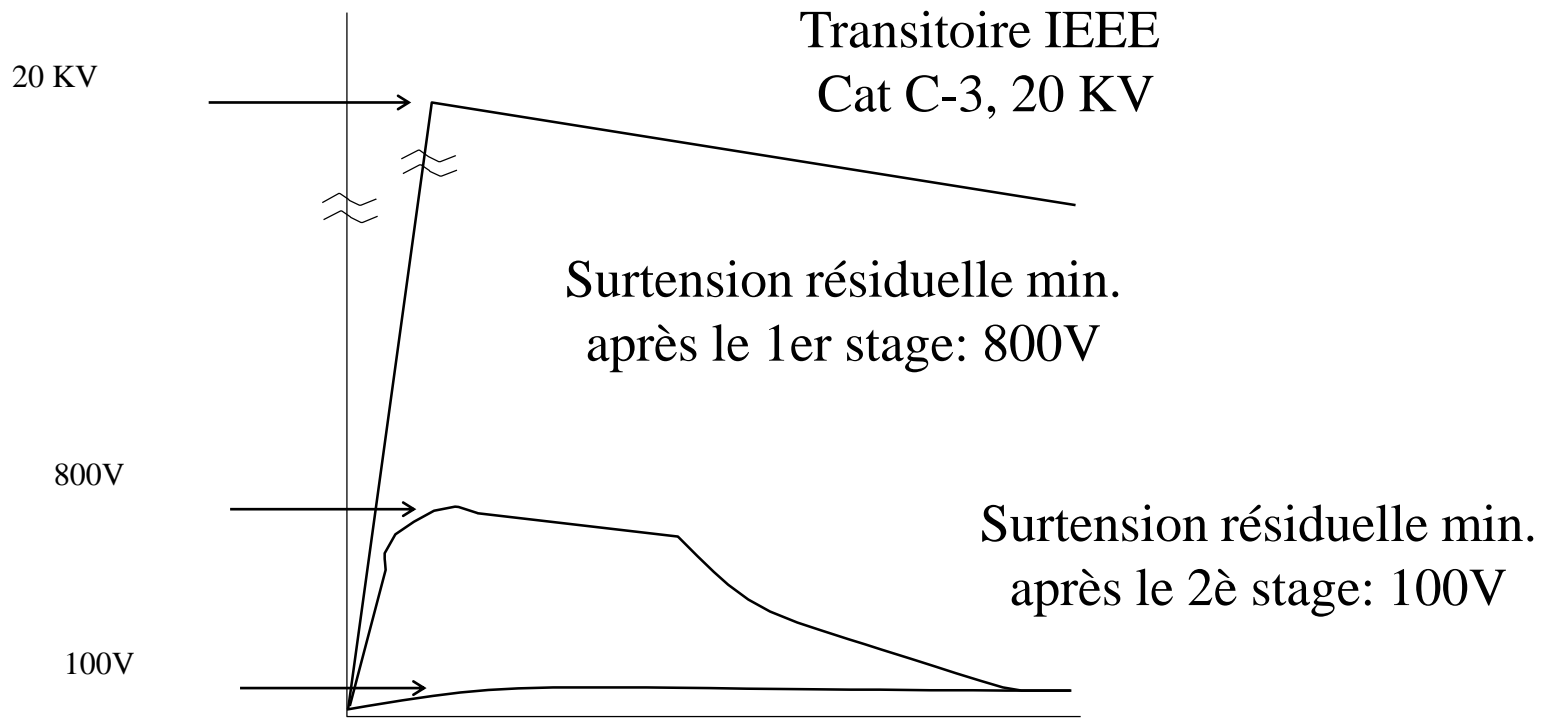
A, B, ou C, selon l'emplacement

- A: Prise de service
- B: Panneau intermédiaire
- C: Panneau principal (entrée de service)

1, 2 ou 3, selon le risque de frappes et transients

- 1: Bas
- 2: Médium
- 3: Élevé

Cascade d'Écrêtage



Cascade de protection selon IEEE Std. 1100 (2005)

Les Écrêteurs, Nomenclature

- LTV
 - *Let Through Voltage* = Surtension Résiduelle

Résidu post écrêtage, plus il est près de la tension normale d'exploitation, meilleur il est. Les meilleurs sont ceux de 150 VCA (réseau 120/240VCA)
- Joules
 - Un piège à cons! Méfiez vous.

Un écrêteurs avec un LTV de 180VCA aura un indice de Joules plus élevé que celui avec un LTV de 150VCA. Donne une fausse perception de la performance.

Les Écrêteurs

Le LTV

Design vs. Performance

La longueur et la qualité des raccord entre les écrêteurs et la ligne en déterminent l'impédance qui va affecter le LTV.

- UL1449 2^e éd teste avec des raccord de 6" et tolère un écart max. de 10%
- Un raccord inefficace peut augmenter le seuil du LTV jusqu'à 5+ fois plus haut (LTV de 800V au lieu de 150V).

Les Écrêteurs, LTV

- Monté directement dans l'interrupteur principal (Fab. >2006) LTV + 0%
- Monté directement sur les bus du panneau (peut invalider l'homologation ACNOR/ULC) + 10%
 - Interne branché à un c/s de 30A
 - LTV+13 à 29%
 - Externe branché à un c/s de 30A
 - LTV+28 à 46%

Écrêteurs, TVSS

Les Limites

Les Varistors ont une durée de vie limitée

Grosseur=capacité

Nombre de frappes

Intensité des frappes

Ils finissent par court-circuiter!

UL1149-B (2007) reconnaît cette réalité et impose
l'Usage de fusibles conçues spécifiquement pour
usage avec les MOV

Écrêteurs, TVSS

Les Limites

Les Varistors ont une durée de vie limitée

Grosseur=capacité

Nombre de frappes

Intensité des frappes

Ca explique la différence...

Le prix des unités TVSS (\$200 vs. \$500+)

Leur durée de garantie (1an vs.10ans)

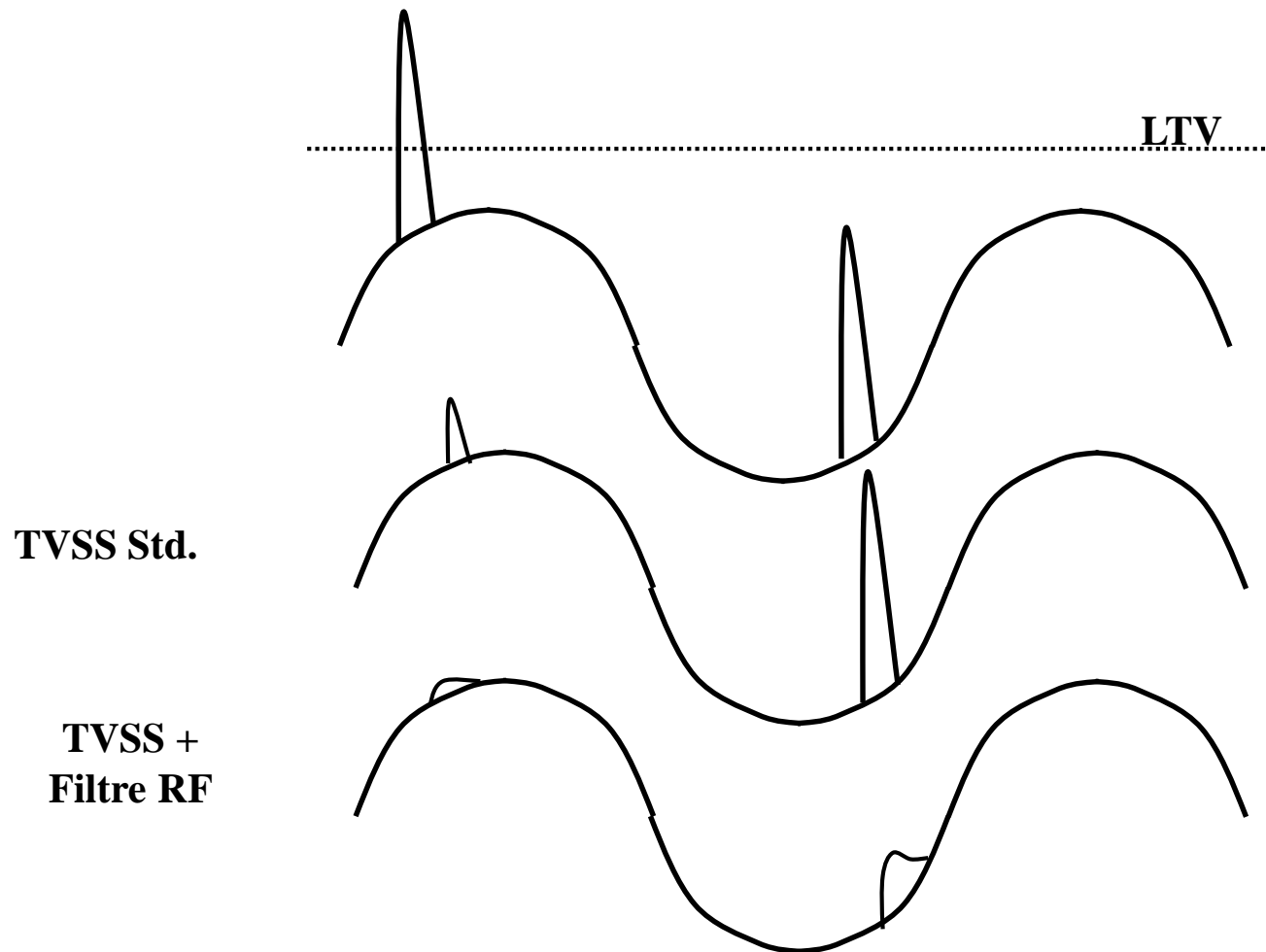
Écrêteurs, TVSS

Les Limites

Les Varistors utilisent la masse comme référence.

Les filtres RF sont «asservis » à la sinusoïdale, ils réagissent à l'énergie spectrale du transient.

Limites des Écrêteurs



Les Écrêteurs Hybrides

Divisent le courant du transient

Réduit le stress des Varistors et prolongent leur durée de vie

LTV plus bas

Un filtre capacitif procure une basse impédance aux transients et oscillations

Atténuent le bruit

Atténuent les hautes fréquences peu importe leur phase

Options de Surveillance

- DEL Vert (Actif) Rouge (En panne)
- Alarme Audible avec contrôle On/Off \$
- Compte-transients \$\$
- Interface IP SNMP (\$\$\$\$\$\$\$)

Recommandations

- Installer le meilleur réseau de masse possible (<1 Ohm) selon les règles de l'art
- Protéger l'entrée électrique avec des TVSS certifiés UL1449-B (2007) Cat. C3 hybrides.
- Protéger les appareils électroniques à la prise électrique avec des appareils enfichables certifiés NEMA LS-1 et UL1449-B2/UL1283
- Protéger les câbles coaxiaux avec des appareils UL-452/497b, CC bloqué.

Bibliographie

- <http://www.stealthlabs.com/surgeguide.pdf>
- Lightning Protection for the Amateur Station, Ron Block, QST jun, jul août 2002
- Cellular Site Engineering, Chap 23: external grounding design, Bruce E. Rotvold, AT&T Mobility.
- Industrial Communications Engineers, <http://www.iceradioproducts.com/30b.html>
- Lightning Strike Polarity, Earle R Williams 2006, Massachusetts Institute of Technology, Plasma Sources Science and Technology Electronic Journals 15 S91-S108
- Grounding bonding and shielding, U.S. Department of Defense, dec. 2000, MIL-STD 188-124B.
- Lightning Protection Design per National Fire Protection Agency NFPA-780 STD. PDH Ltd,
- About the direction of motion, polarity and multiplicity of lightning flashes hitting towers. Osvaldo Pinto Jr. & Al., Annales Geophysicae (2003) 21: 1209-1213
- An overview of Lightning Protection for Ham Radio Stations. Polyphaser Corp. TD1016.
- How to protect your house and its contents from lightning and AC power surges. IEEE Press, ISBN 0-7381-4634-X
- American Power Conversion, the 7 Types of Power Problems (tutoriat)
- IEEE Standard 1100, Emerald Book, 2005
- Cutler-Hammer, Understanding TVSS, Nashville lecture.