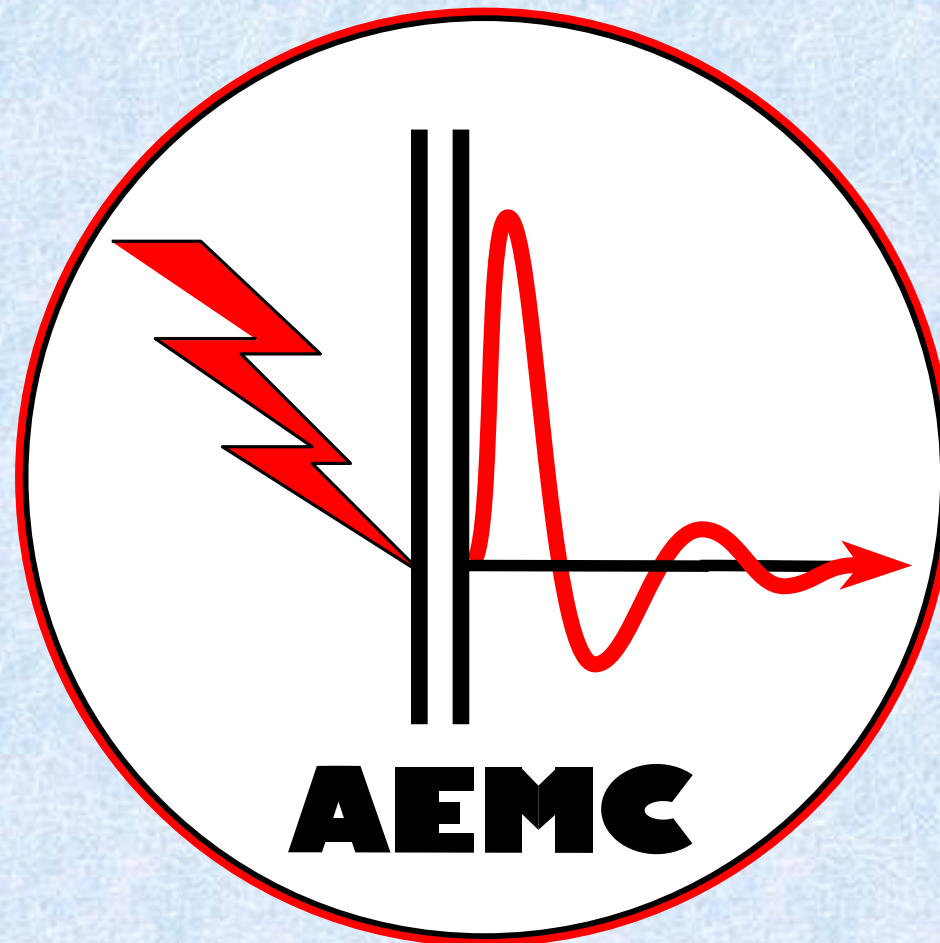


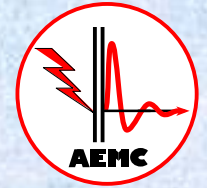
CEM Scientifique et Industrielle



RF & Hyper 2011

Alain CHAROY - a.charoy@aemc.fr

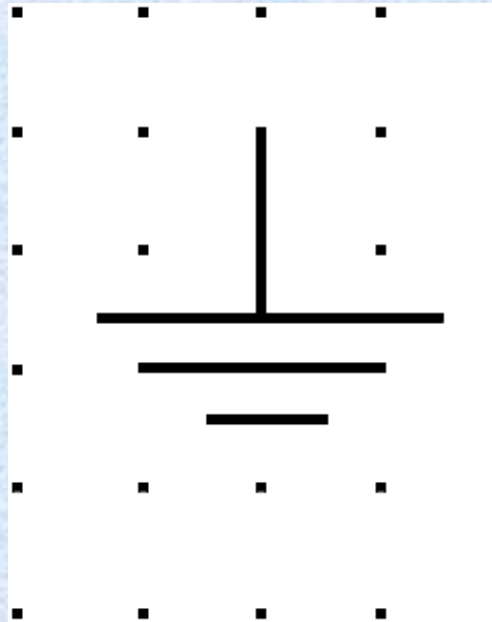
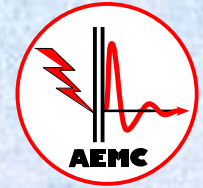
Constat général pour commencer



Les principales entraves à une large diffusion de la CEM ne sont ni scientifiques ni techniques ; elles tiennent principalement à :

- **La confusion des symboles normalisés** (terre, masse, 0 V...).
- **La confusion des définitions normalisées** (terre de référence...).
- **La confusion des termes** (fonction de transfert / perte d'insertion).
- **La confusion des concepts** (boucles de masse / entre masses...)
- **Des erreurs de normes** (CEM ou sécurité, parfois contradictoires).
- **Des mauvaises habitudes** (câblage en étoile, terre « propre »...)
- **Des corrections maladroites** qui entraînent des erreurs de jugement (queues de cochon, tôles peintes...)
- **Un enseignement trop théorique et parfois erroné** (effet de peau...)
- **Un manque de transmission** du savoir des véritables experts CEM.

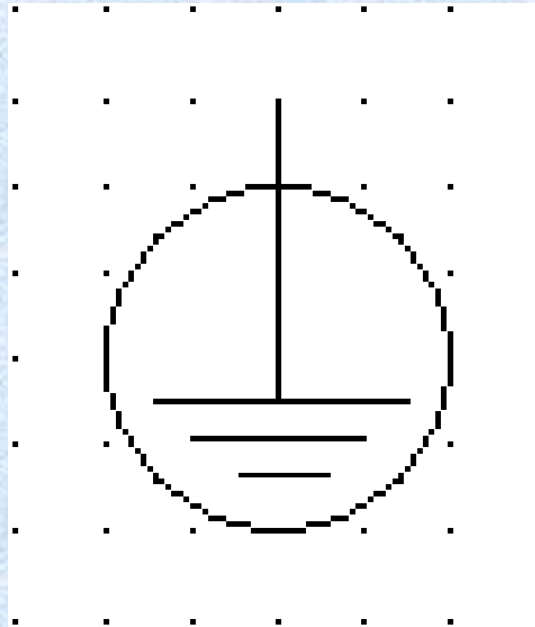
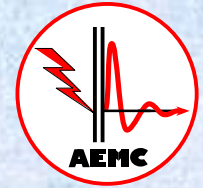
CEI 60617 - Symbole S00200



Nom:	Prise de terre (earth, general symbol)
Autres noms:	Ground (US), grounding (US)
Pour être clair:	L'électrode de terre et ses connexions

Quelle que soit sa résistance, une terre ni fonctionnelle, ni même importante pour la sécurité, ce qui est heureux pour les équipements automobiles, aéronautiques, spatiaux, les implants médicaux...

CEI 60617 - Symbole S00202



Nom:

Terre de protection (Protective earthing)

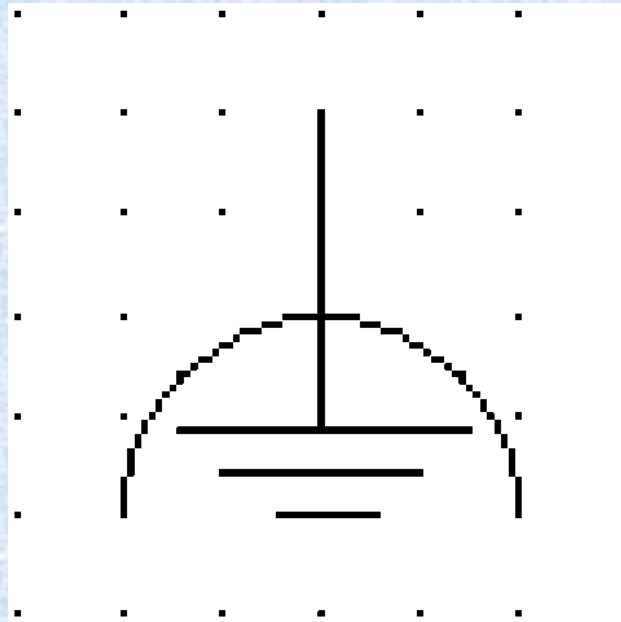
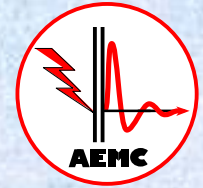
Autres noms:

Protective grounding (US), protective earthing conductor, protective earthing terminal, protective grounding conductor (US), terminal.

Pour être clair:

Le seul rôle d'un réseau de terre est de protéger les personnes et les biens, donc à quoi bon deux symboles différents pour une seule fonction?

CEI 60617 - Symbole S00201



Nom:

Terre sans bruit

Statut:

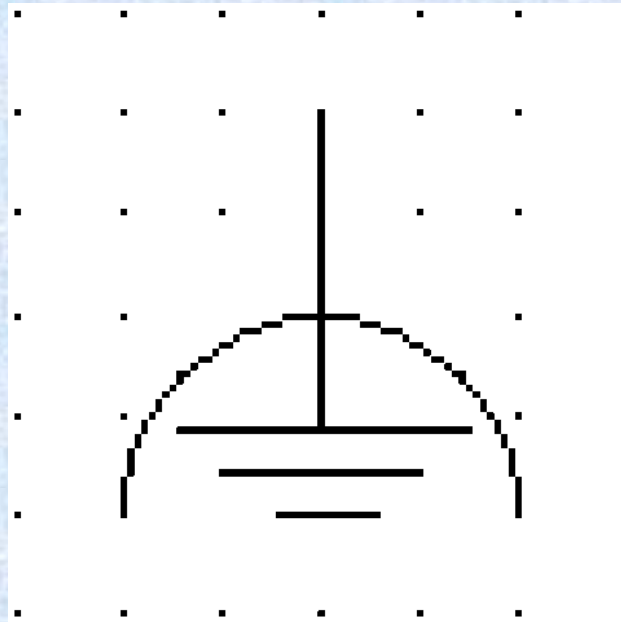
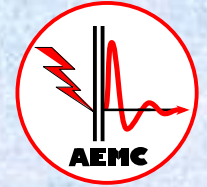
Obsolète - référence historique uniquement

Pour être clair:

Ce symbole est stupide !

- 1) Pour annuler les courants vers la terre, supprimer les fils de terre !
- 2) En tension, toute terre est équipotentielle par rapport à elle-même !
- 3) En tension, toute terre est bruyante par rapport à toute autre !

CEI 60617 - Symbole S01408



Nom:

Terre fonctionnelle (Functional earthing)

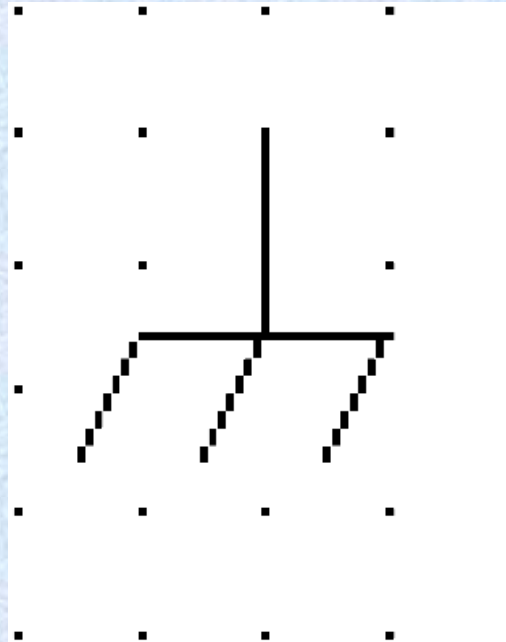
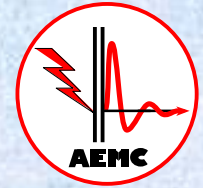
Autres noms:

Functional grounding (US), Functional earthing conductor, Functional earthing terminal

Pour être clair:

**Il n'existe plus de terre fonctionnelle en industrie !
Anciennement utilisé pour des liaisons longues à
très basse fréquence (télégraphie principalement)**

CEI 60617 - Symbole S00203



Nom:

Châssis

Autre nom:

Frame

Statut:

Obsolete - Référence historique uniquement

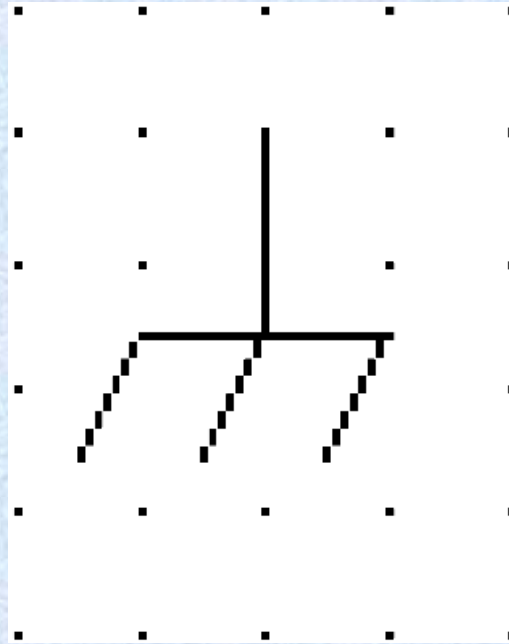
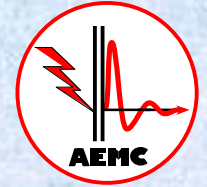
Pour être clair:

Pourquoi avoir annulé ce symbole ?

Nous avons besoin d'un symbole pour la masse.

Nous recommandons de conserver ce symbole.

CEI 60617 - Symbole S01409



Nom :

Liaison équipotentielle fonctionnelle

Autres noms :

Functional bonding conductor / terminal

Pour être clair :

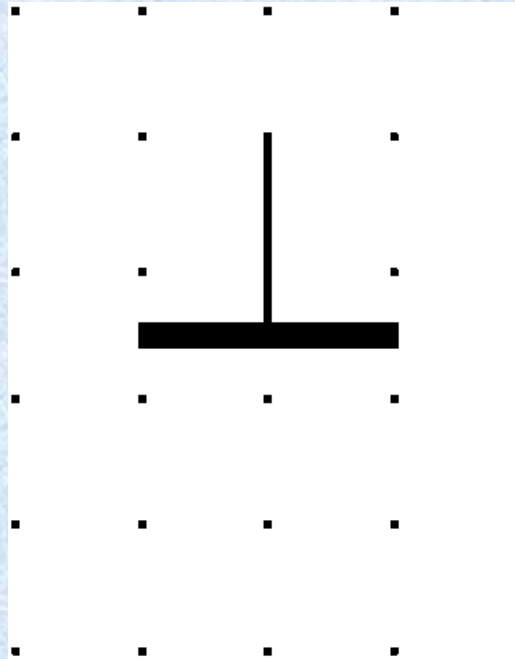
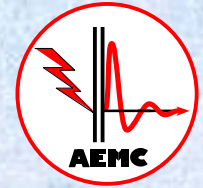
Exactement la définition du S01410 !!!

Il n'y a plus de symbole CEI pour la masse.

La nouvelle (2005) définition est très perturbante.

Conservons ce symbole pour la masse (maillée).

CEI 60617 - Symbole S01410



Nom:

Liaison équipotentielle fonctionnelle

Autres noms:

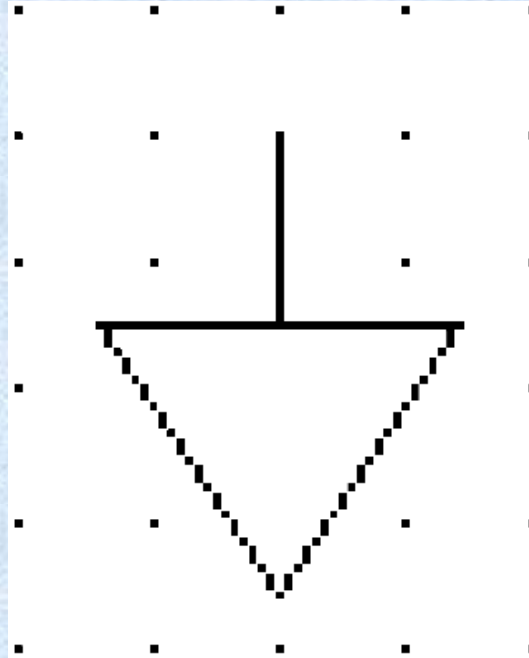
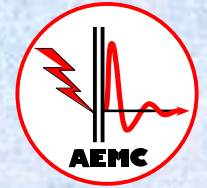
Functional bonding conductor / terminal

Pour être clair:

Masse signal (aussi appelé « 0 V »).

**Peut être mis à la terre (connecté au châssis)
ou flottant (primaire d'une alimentation).**

CEI 60617 - Symbole S00204



Nom:

Liaison équipotentielle de protection

Autres noms:

Protective (equipotential) bonding / terminal

Pour être clair :

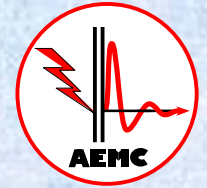
Pourquoi inverser le sens des symboles ?

Ce symbole représentait le « 0 V ».

Désormais signifierait-il « masse » ?

Conservons le sens de « 0 V fonctionnel ».

Définition CEI: Terre de référence



Terre de référence: Partie de la (planète) Terre considérée comme conductrice, dont le potentiel est **conventionnellement** pris à zéro, et hors de l'influence de toute autre prise de terre.

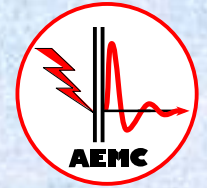
(CEI 60050 - 195-01-01 - Pas de symbole pour cette définition)

Que penser? Il n'y a aucune « terre de référence » au monde!
C'est un concept purement imaginaire (et idéal).
Par chance, cet objet conventionnel est inutile!
Seule la notion d'équipotentialité importe.

La CEI utilise ce concept de façons très diverses:

- **62305-3:** Des prises de terre de référence doivent être installées...
- **61000-4-2, 61000-4-4, etc...** : Le plan de terre de référence (tôle)...
- **61000-4-5, 61643-11:** Le PE est la terre de référence (conducteur).
- **CISPR 16-1-2:** Prise de terre de référence modifiée (par 1,6 mH)...

Définition CEM: Électrode de terre



Electrode de terre: Partie conductrice, qui peut être enfermée dans un matériau conducteur, par exemple du béton ou du coke, lui-même en contact électrique avec la Terre (IEC 60050 - 195-02-01).

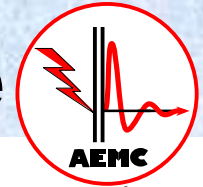
Que penser? **Aucun problème avec cette définition, mais...**

Quelle est l'importance d'une électrode de terre?

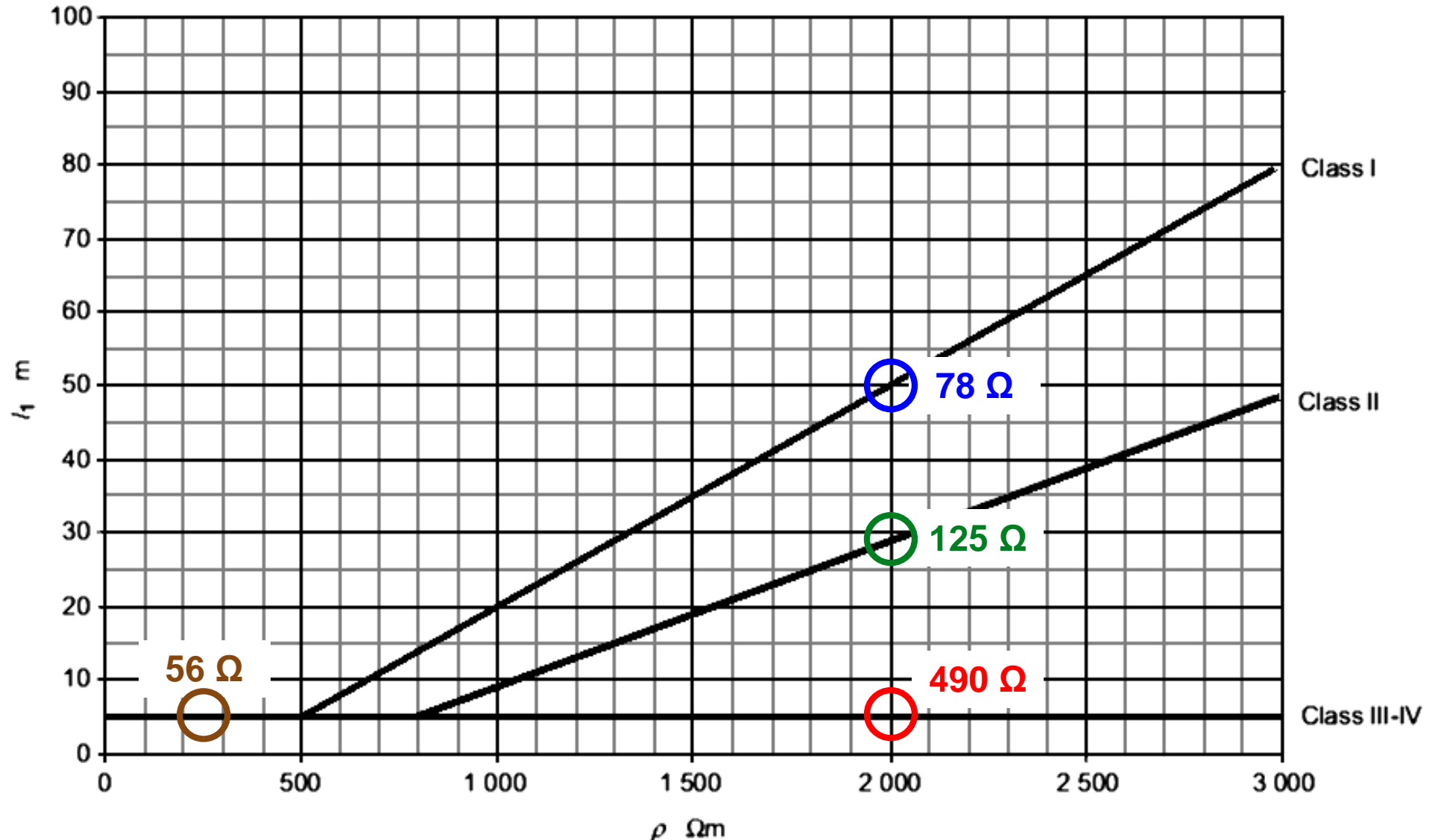
Quelle est la bonne valeur de résistance de terre?

Tant pour la CEM que pour la SECURITE, seule l'équipotentialité importe réellement.

Résistance maxi d'une électrode de terre

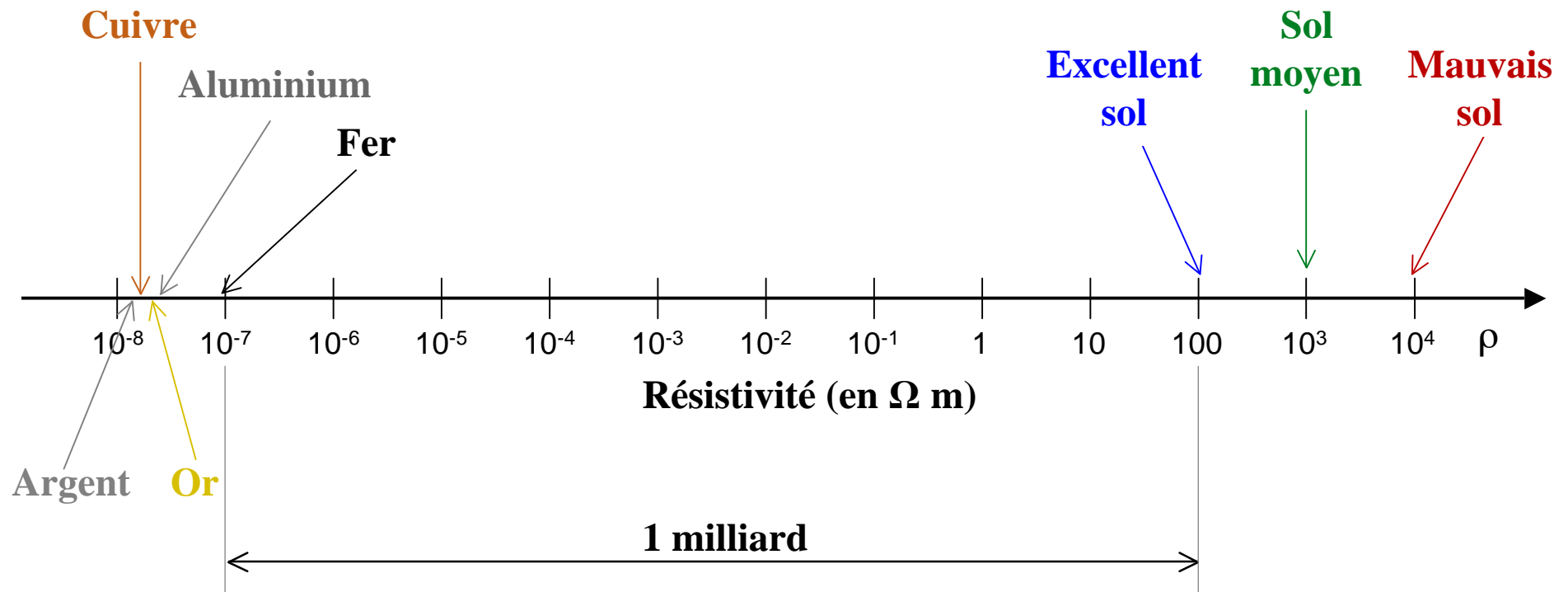
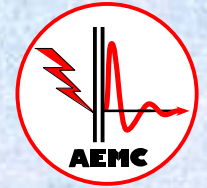


CEI 62305-3: Protection contre la foudre - Dommages physiques sur les structures & risques humains



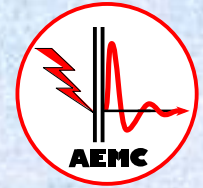
Longueur mini l_1 de chaque électrode de terre, selon la classe du SPF (2 électrodes requises)

Résistivité du sol



Concluez vous-même...

Definition CEI: Équipotentialité



Équipotentialité: Etat lorsque des parties conductrices sont substantiellement au même potentiel (CEI 60050 - 195-01-09).

Qu'en penser?

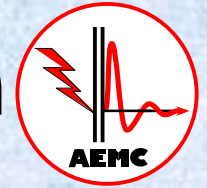
L'équipotentialité est nécessaire à la sécurité à 50 Hz.

Elle s'obtient par le maillage des masses, y compris des PE.

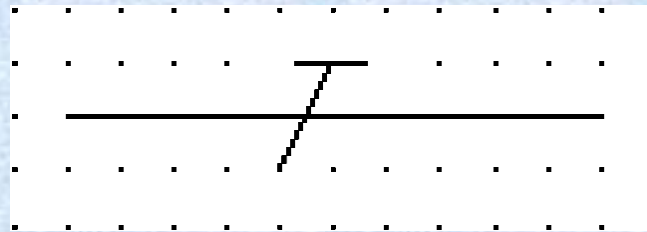
Une équipotentialité suffisante est aussi nécessaire à la CEM, à toutes les fréquences, du continu à plusieurs GHz.

Elle s'obtient jusqu'à plusieurs MHz par un réseau de masse maillé (Common Bonding Network, ou « CBN » en anglais).

Définition: Conducteur de protection



Conducteur de protection (PE): Conducteur servant à la sécurité, par exemple contre les chocs électriques. C'est un conducteur vert-et-jaune (CEI 60050 - 195-02-09)



Qu'en penser?

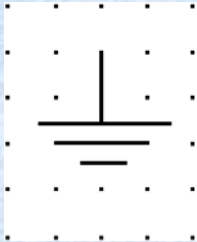
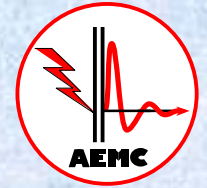
Les conducteurs PE suffisent à la sécurité à 50 Hz.

Mais en environnement bruyant, un conducteur PE ne suffit pas à la CEM : un réseau de masse maillé est requis.

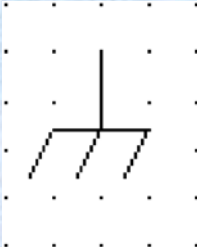
En environnement très perturbé, une tôle est meilleure.

En environnement CEM extrême, une chambre blindée (ou des baies / armoires blindées) peuvent s'avérer nécessaires.

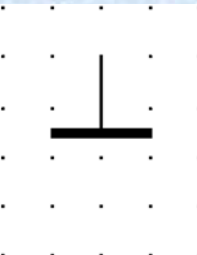
Symboles CEM importants



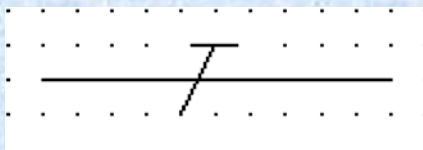
terre (tant pour la sécurité que la protection foudre)



Masse (châssis relié au réseau de masse maillé)

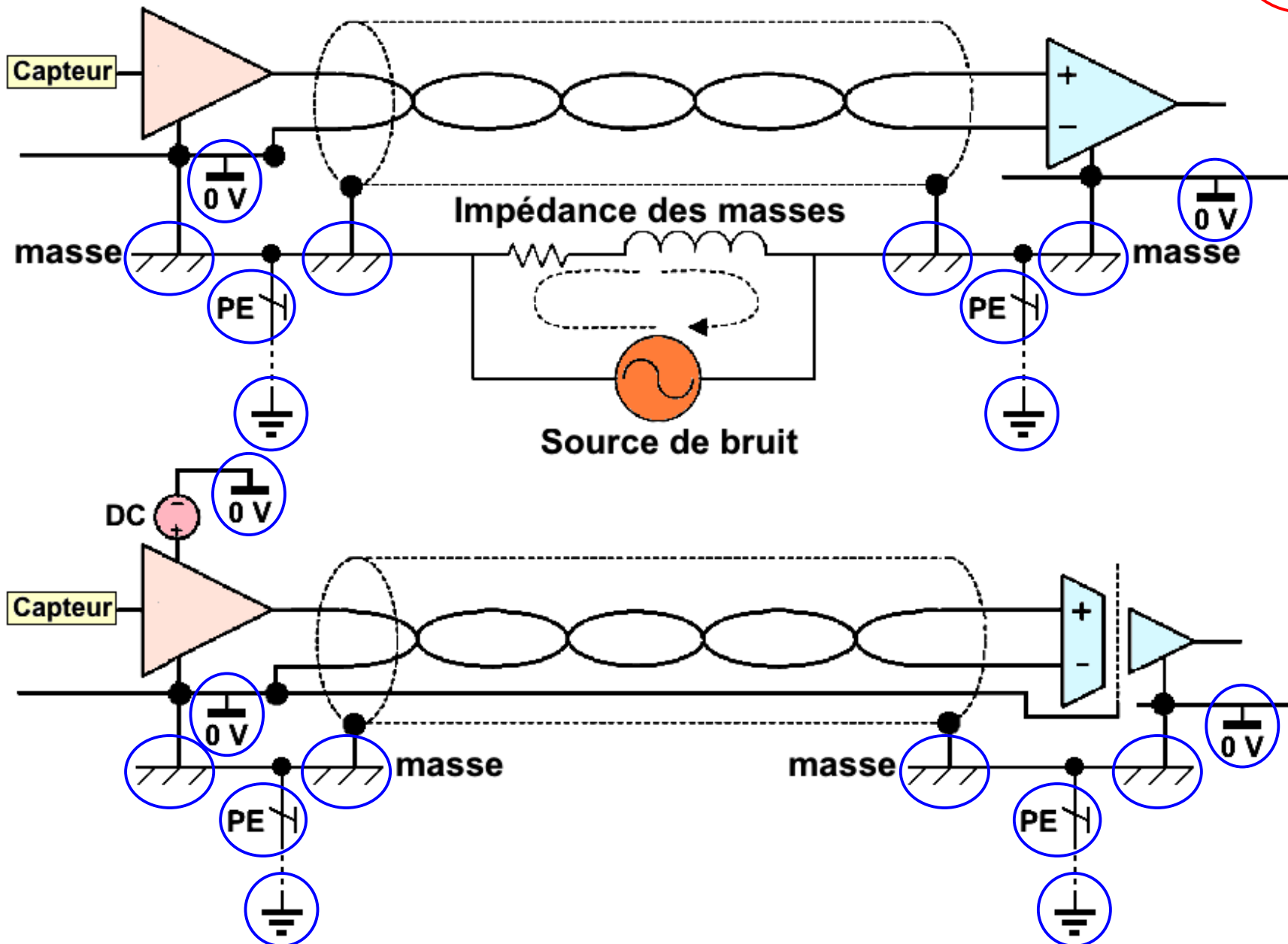
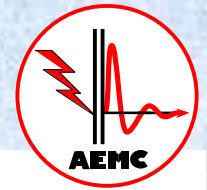


0 V (il peut être flottant ou non)

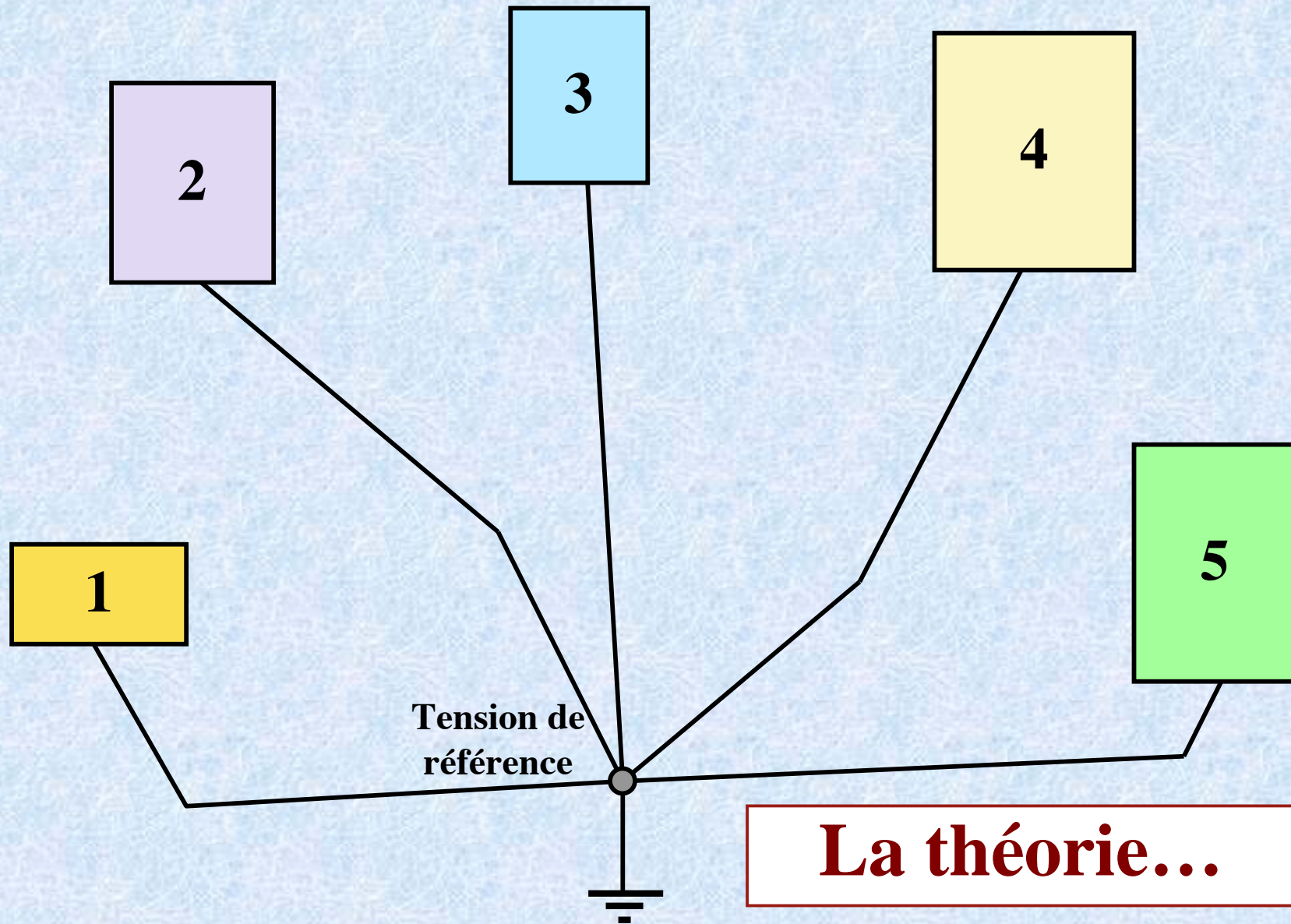
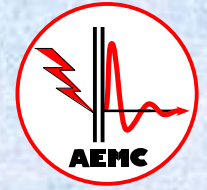


Conducteur PE (une partie du réseau de masse)

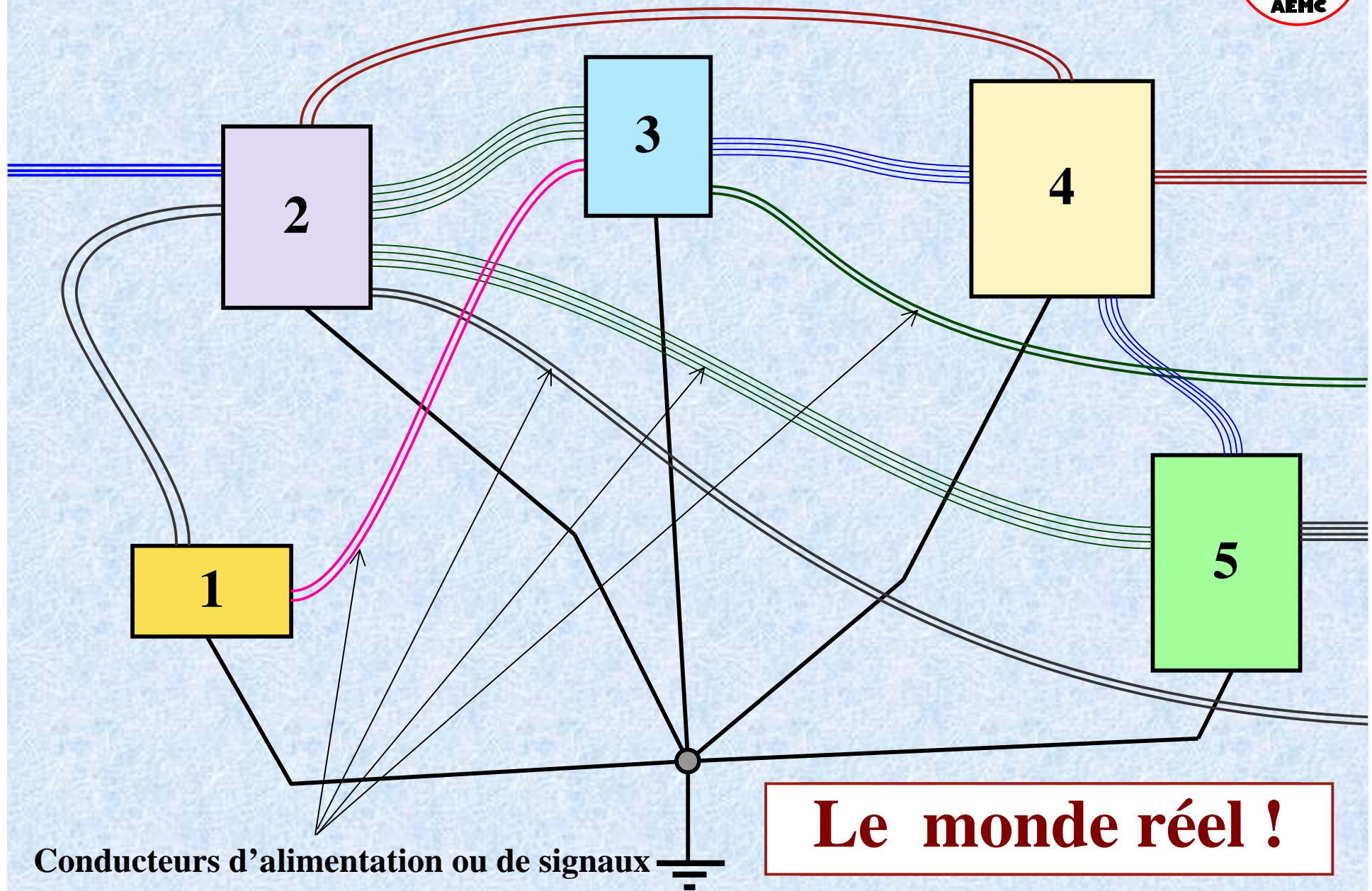
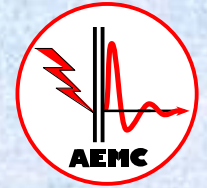
Exemples d'utilisation de symboles



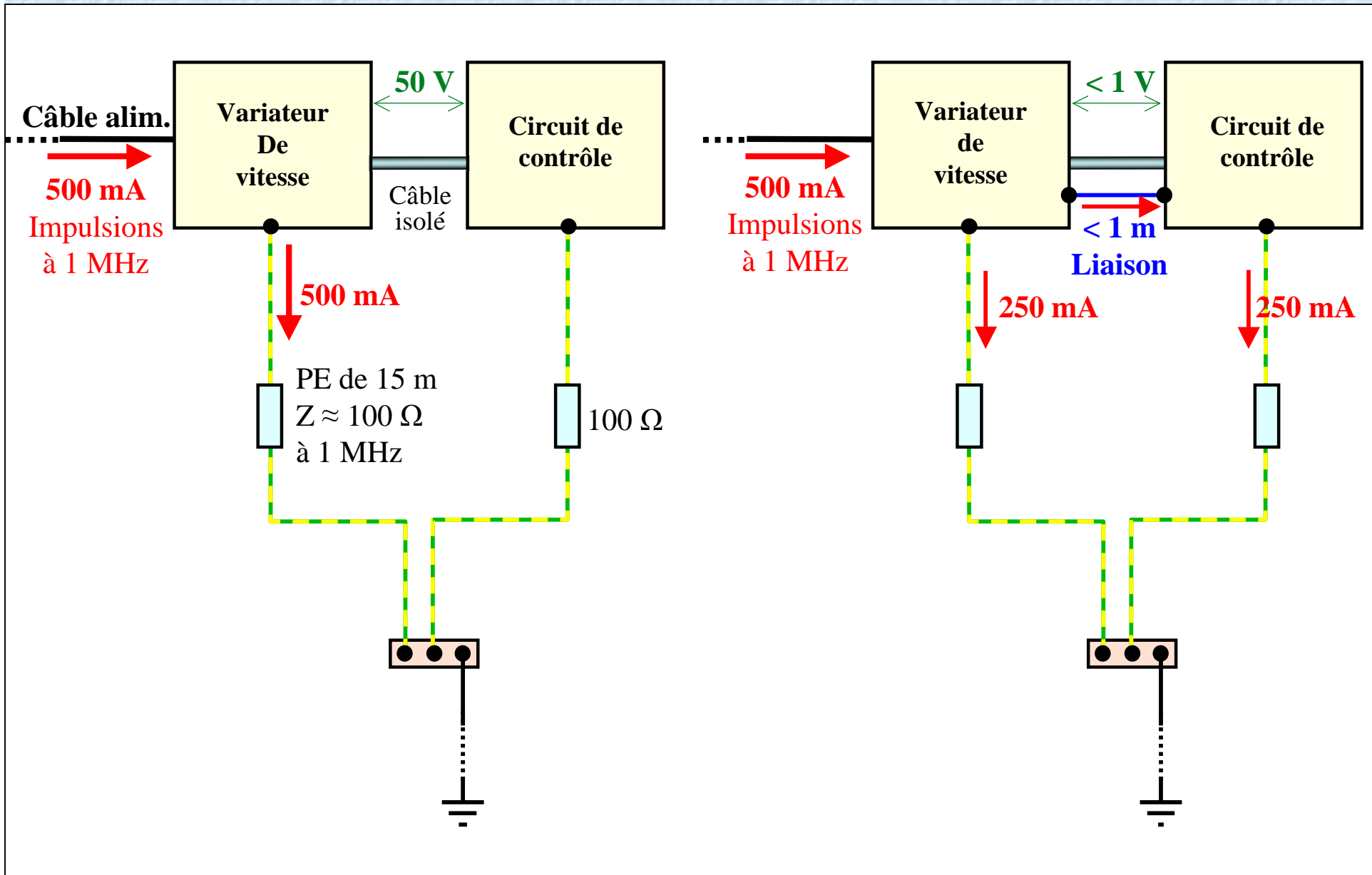
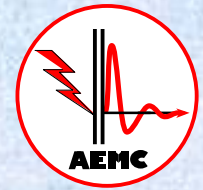
Câblage en étoile : le principe



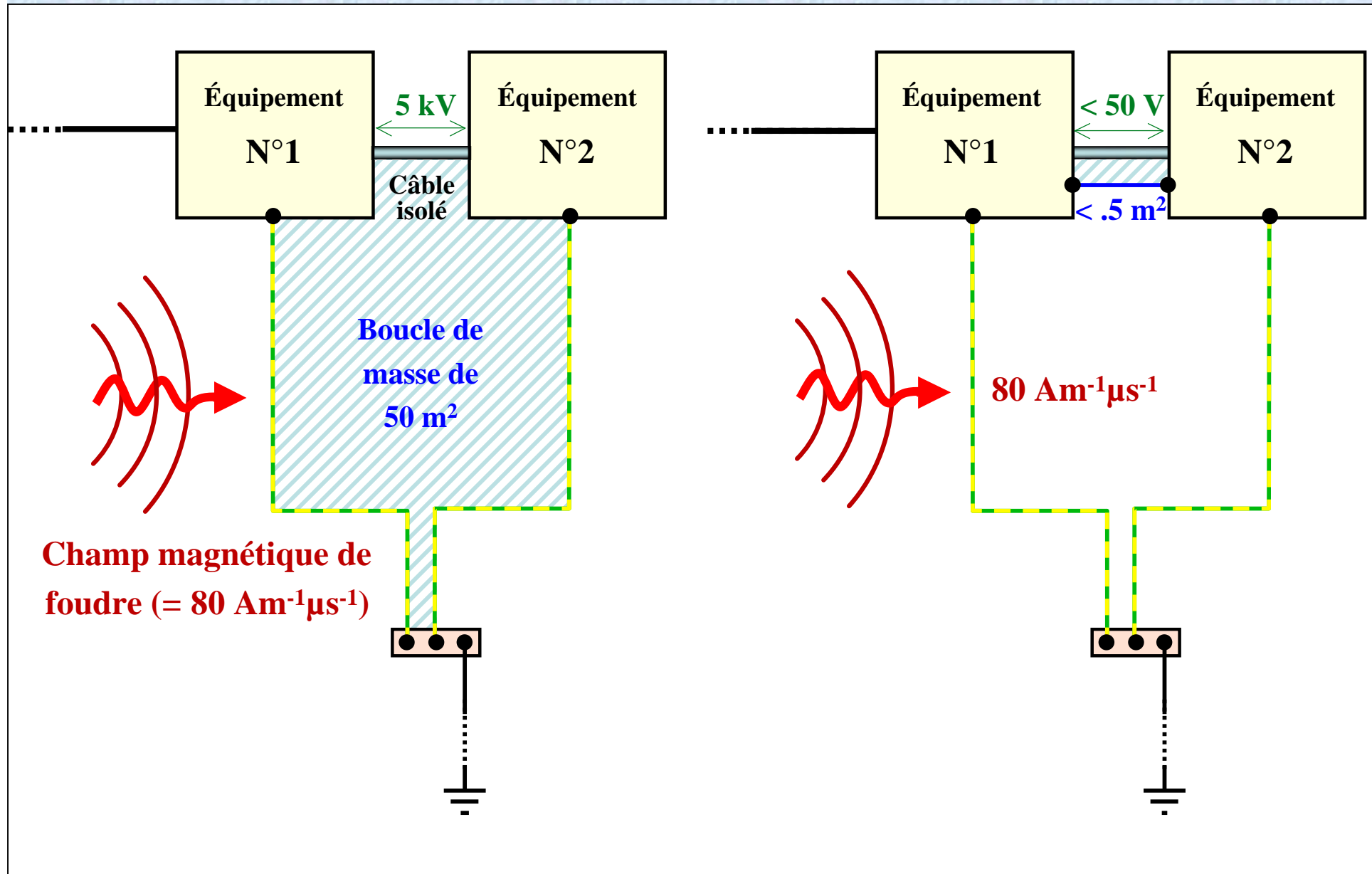
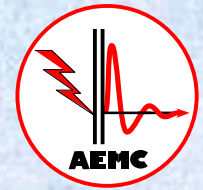
Câblage en étoile : la réalité



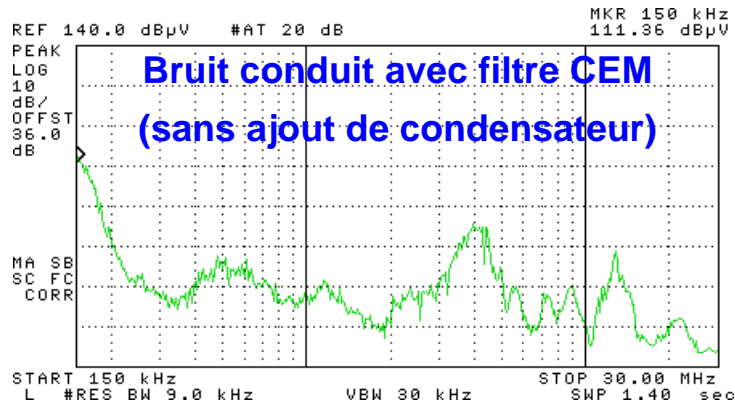
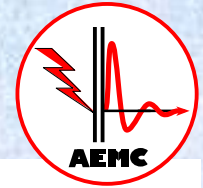
Câblage en étoile = impédance commune



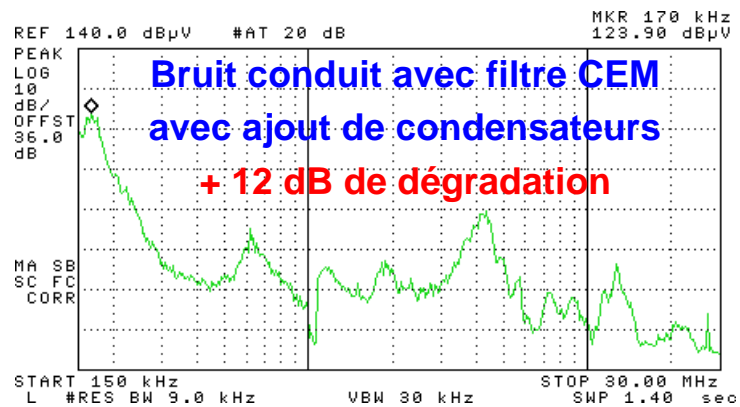
Câblage en étoile = Boucle de masse



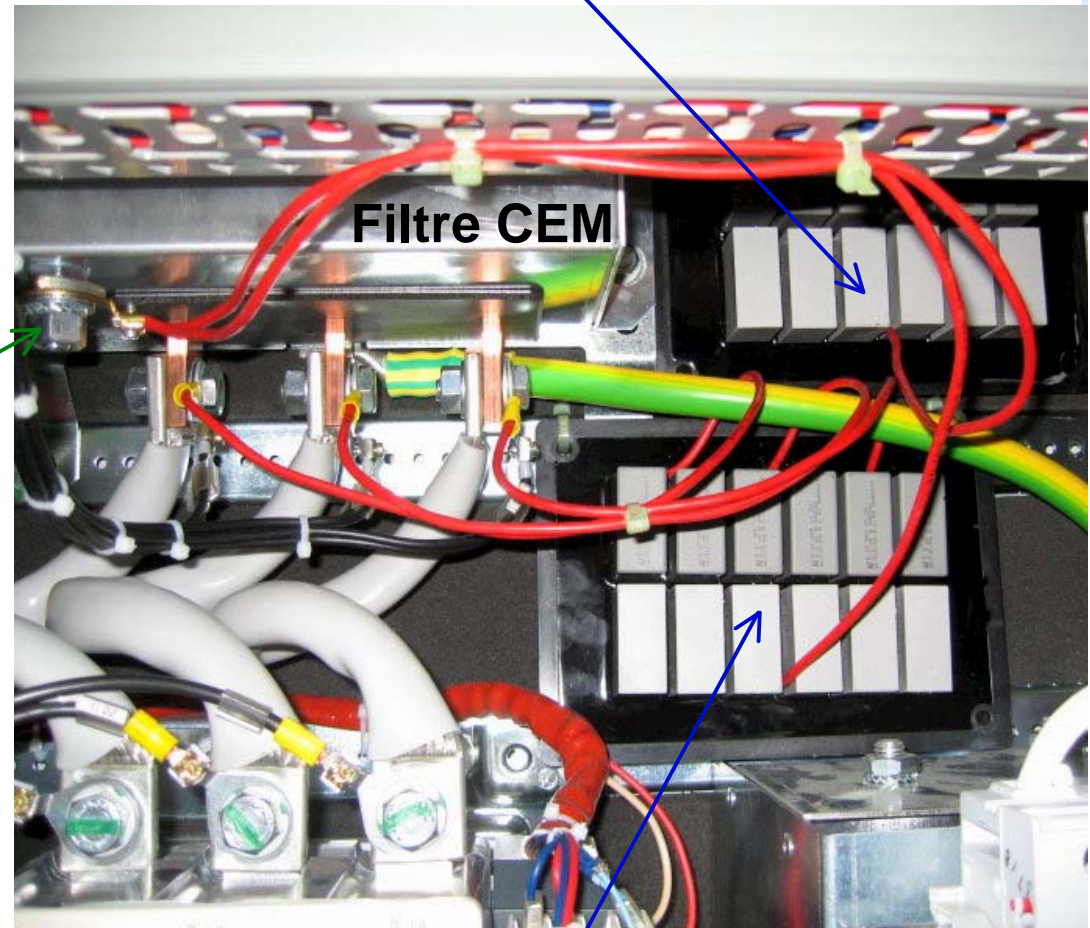
Condensateurs ajouté en étoile



Point commun

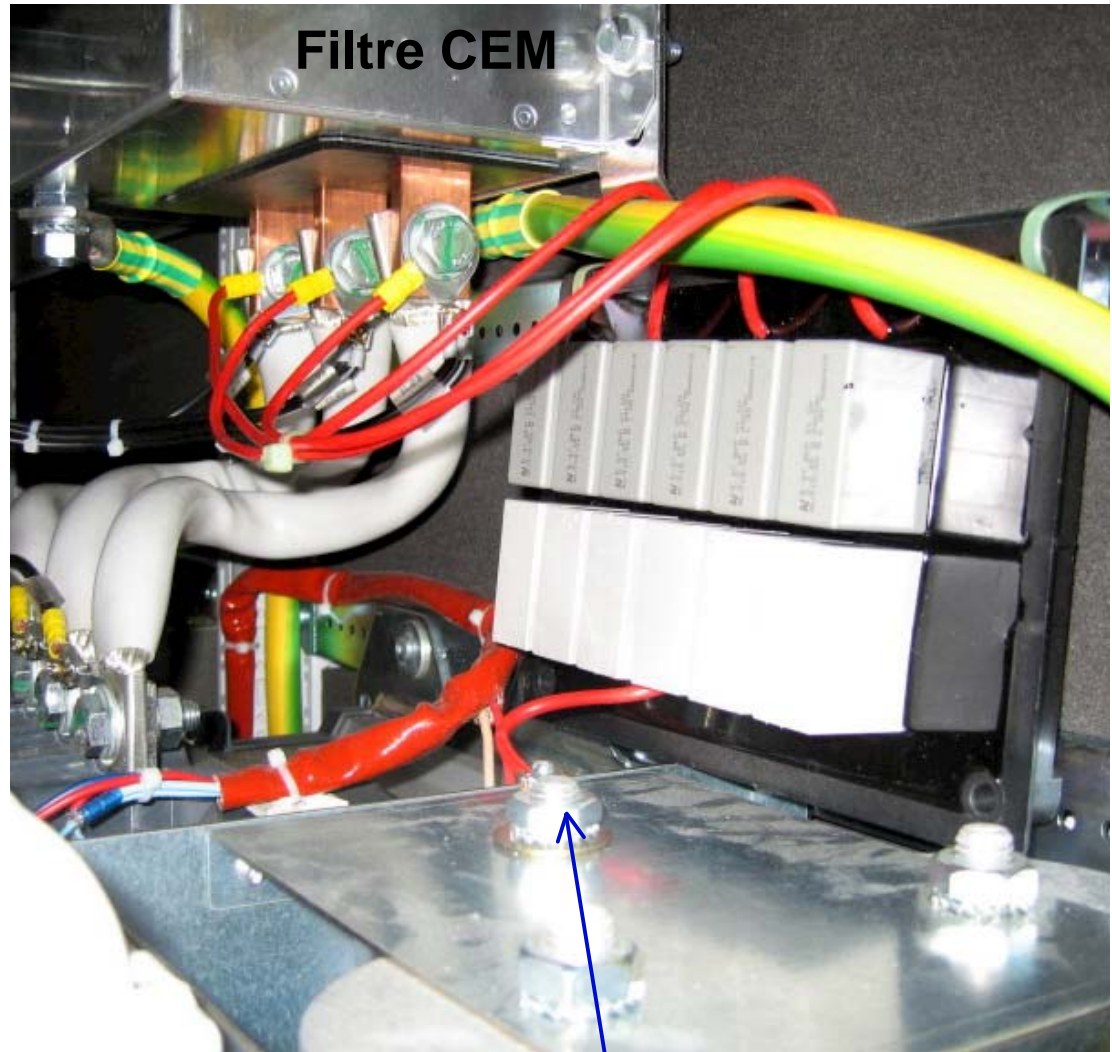
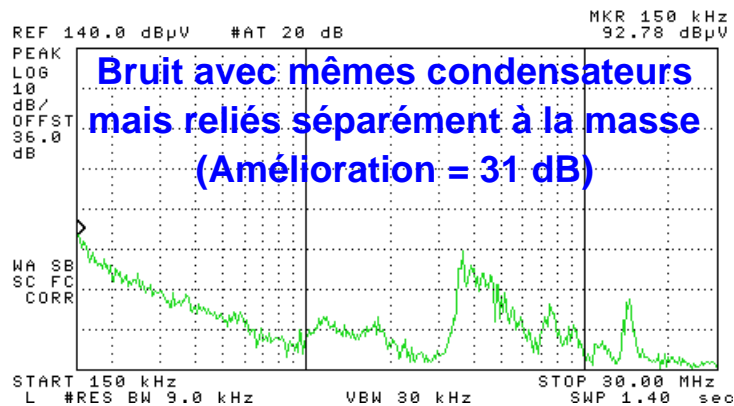
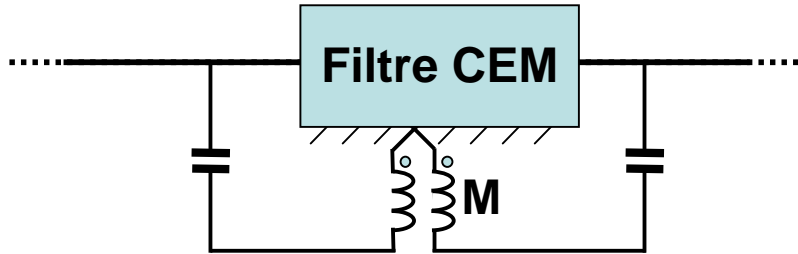
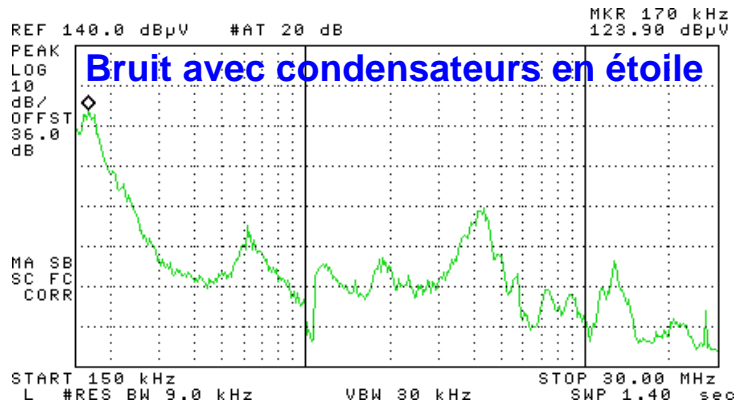
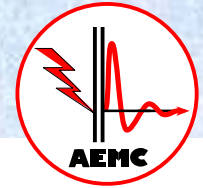


Condensateurs ajoutés en amont (3 x 2,2 μ F)



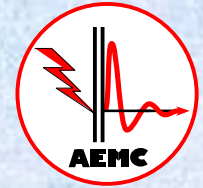
Condensateurs ajoutés en aval (3 x 2,2 μ F)

Câblage en étoile = inductance mutuelle



Meilleur câblage (malgré des fils trop longs)

Une norme IEEE défectueuse



IEEE
Std 142-2007

CHAPTER 5

ISOLATION
TRANSFORMER

FROM MAIN
480V SOLACE

NOTES

1. EACH BRANCH CIRCUIT SHALL HAVE A SEPARATE NEUTRAL AND GROUND WIRE. NO DAISY CHAINING PERMITTED.
2. THIS DRAWING DOES NOT SUPPLANT NATIONAL, STATE OR LOCAL ELECTRICAL CODES.
3. ONLY COMPUTER EQUIPMENT TO BE SERVED FROM THIS PANEL.

ALL
GROUNDING
CONNECTIONS
MADE TO A
COMMON
POINT

GROUND TO
BUILDING STEEL,
WATER MAIN, ETC.

CORE

SHIELD

CONDUIT
GROUNDING
FITTING
(TYPICAL)

NEUTRAL 2 AWG WIRE SIZES (APPROX. 60%)
LARGER THAN PHASE CONDUCTORS

208/120V COMPUTER
SYSTEM POWER PANEL

ALL RECEPTACLES
NEMA ISOLATED
GROUND TYPE

*NEUTRAL
BUS

*GROUND
BUS

BRANCH CIRCUITS
TO WORKSTATIONS
AND COMPUTERS

*BOTH BUS BARS ISOLATED FROM PANEL ENCLOSURE

Figure 5-11—Recommended power distribution—computer system

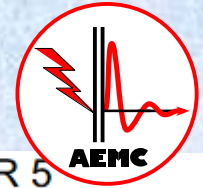
CORRECT:

**Raccordement du
conducteur neutre à la
terre en un seul point.**

ERREUR:

**Conducteur PE (de
protection) relié à la
terre en un seul point.**

Poor grounding distribution



CHAPTER 5

IEEE
Std 142-2007
BUILDING STEEL

Grande
boucle
de masse

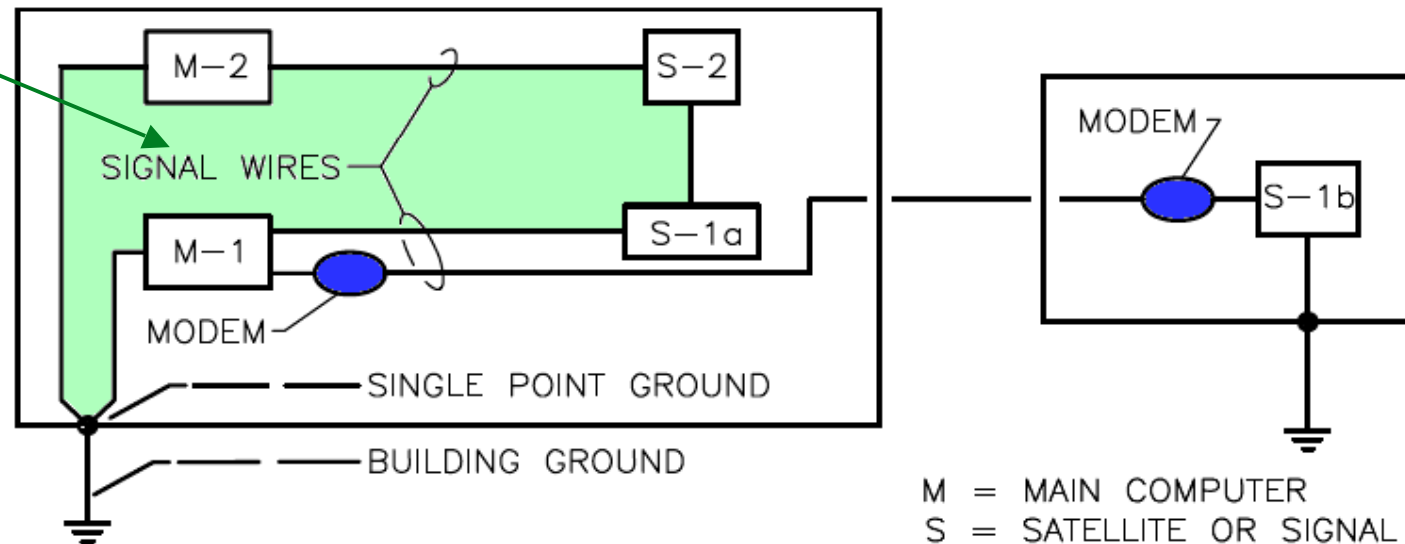
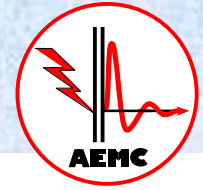


Figure 5-8—Zero noise pickup from single-point grounding of two-computer systems

CORRECT: Modems galvaniquement isolés ajoutés sur liaison entre équipements reliés à des terres différentes.

ERREUR: Conducteurs PE raccordés à la terre en étoile.

Réseaux de terre séparés



IEEE
Std 142-2007

CHAPTER 5

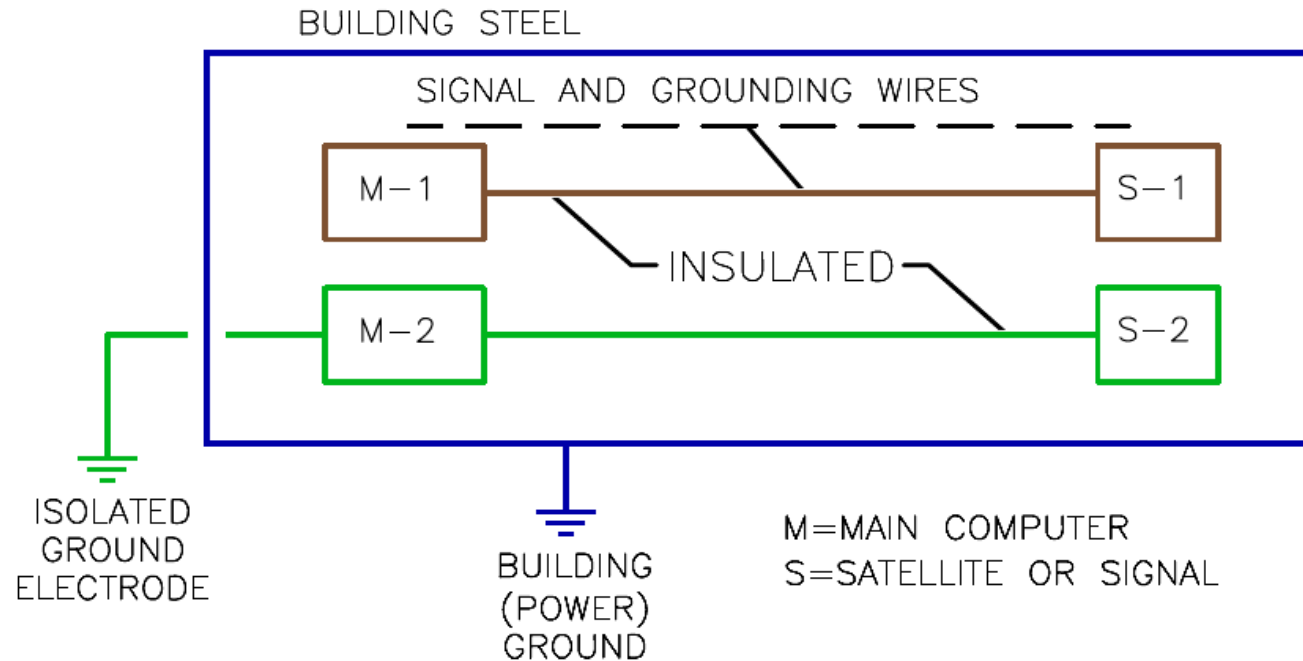
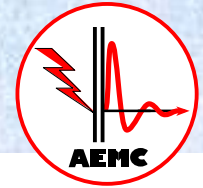


Figure 5-4—Isolated grounding of computers

CORRECT: Rien !

ERREUR: Des masses simultanément accessibles sont reliées à des terres différentes (stupide et illégal).

Electrodes de terre séparées



IEEE
Std 142-2007

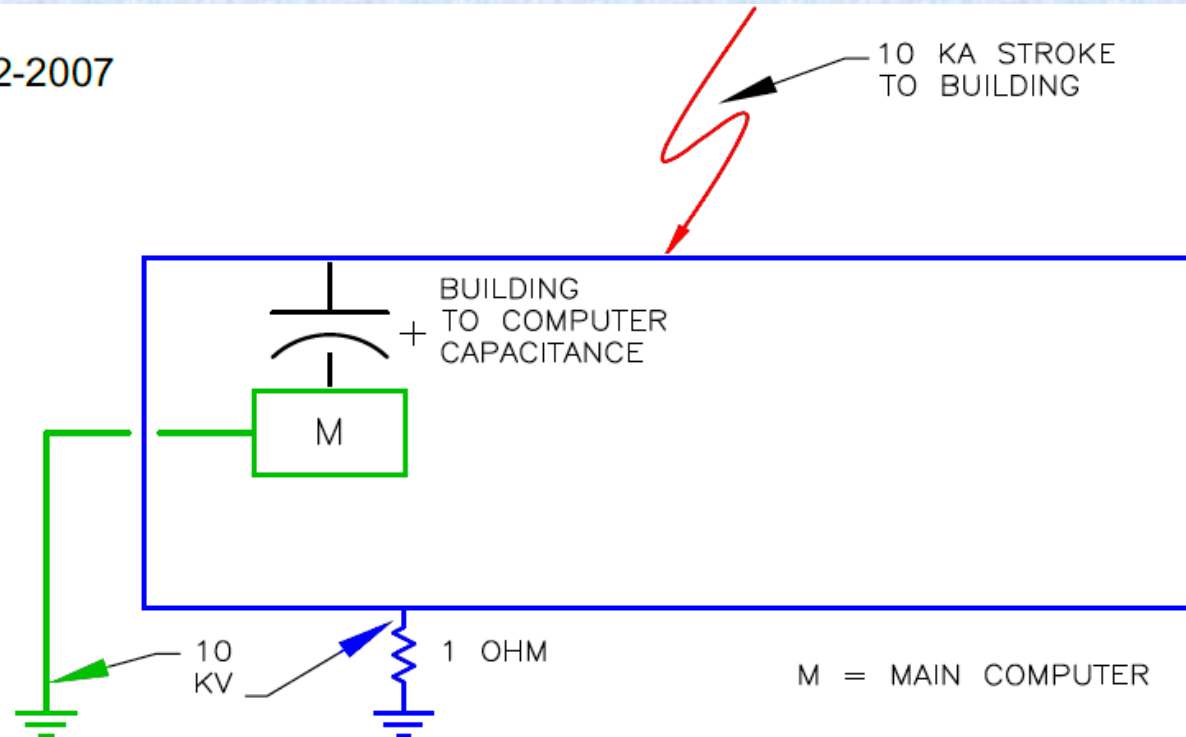
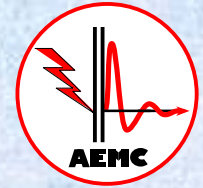


Figure 5-5—Effects of stroke to building with isolated grounding electrode
(not recommended)

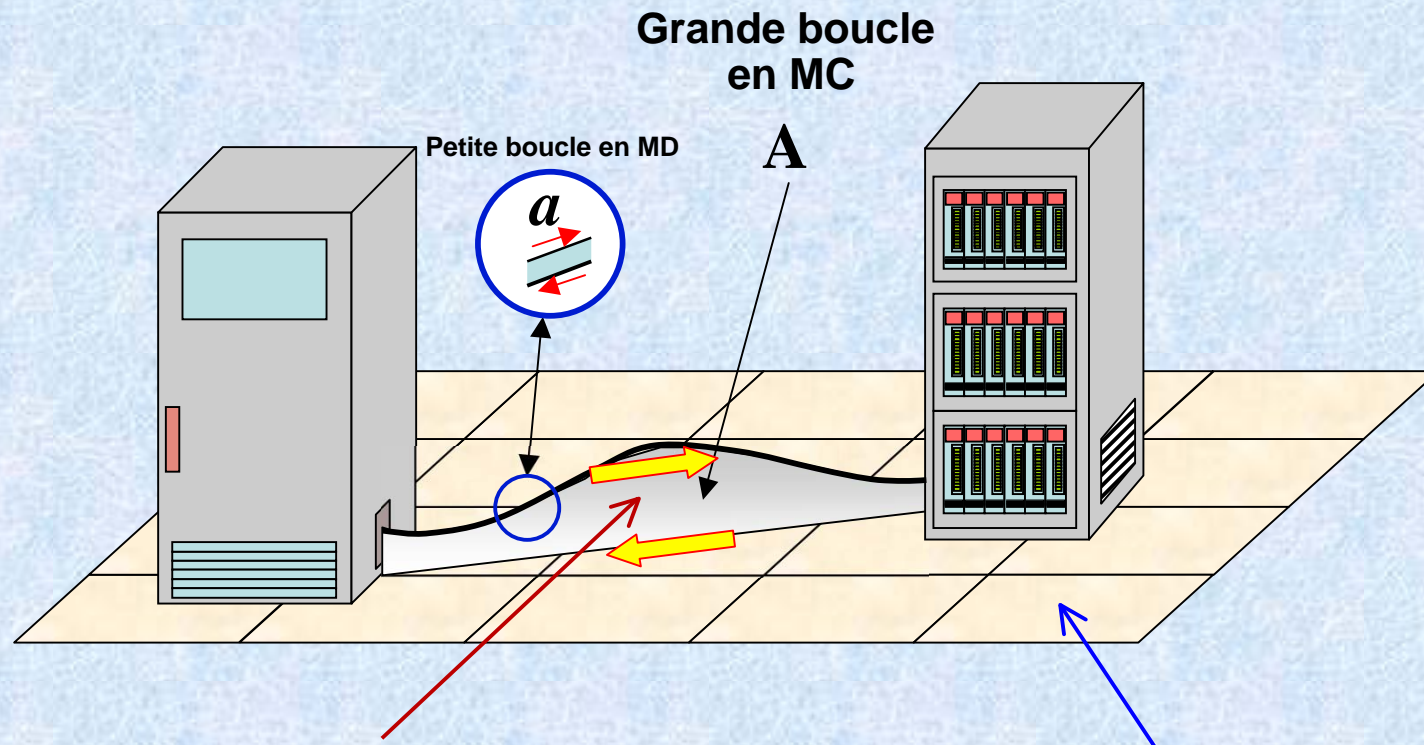
Sécurité: 2 terres accessibles non reliées sont illégales.

CEM: 2 réseaux de terre séparés sont calamiteux.

Boucles de masse et entre masses



Un champ magnétique variable induit des tensions dans toutes les boucles:



Cette surface de boucle de masse est inévitable.

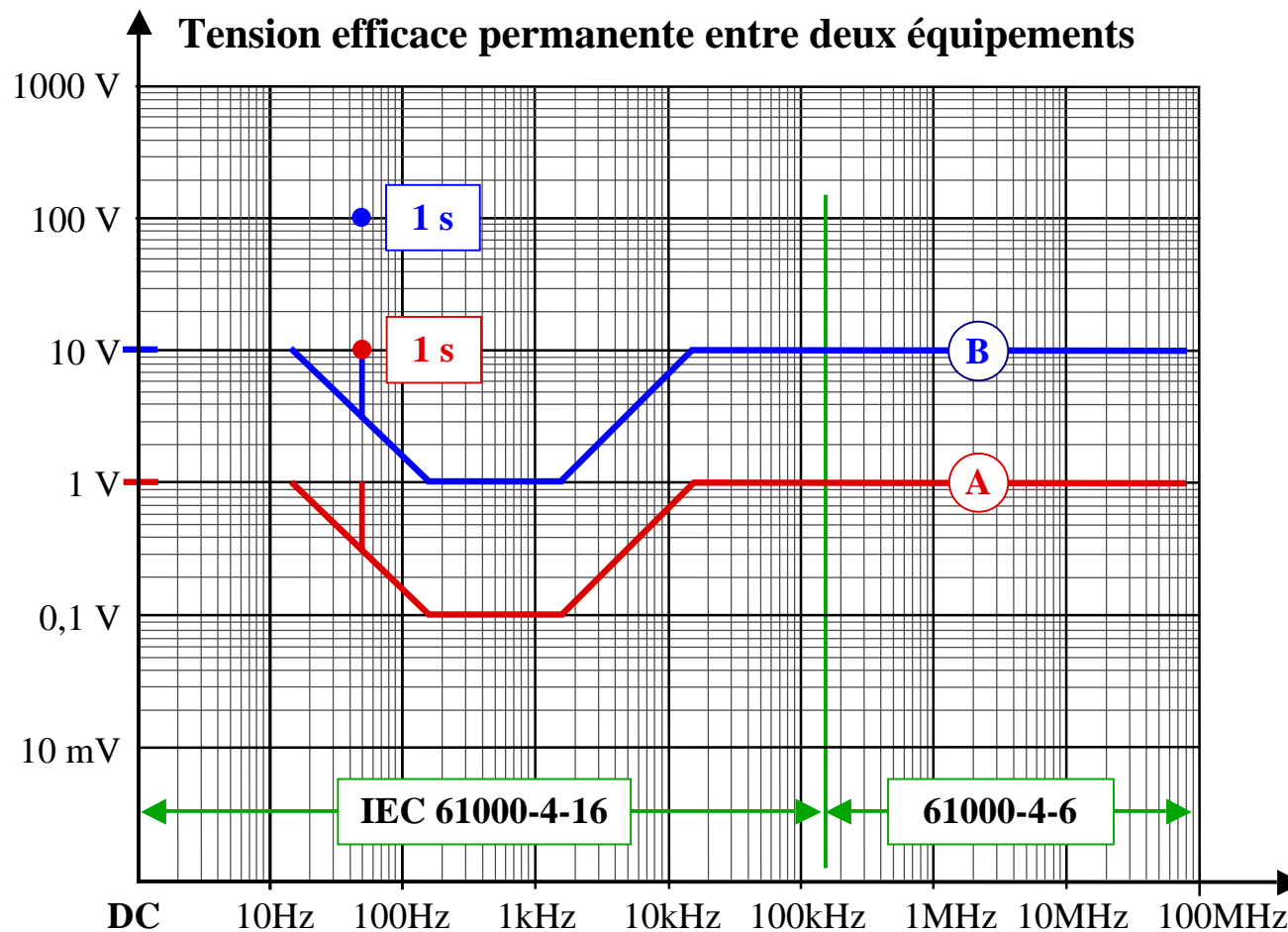
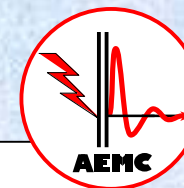
Elle devrait être réduite en:

- Plaquant les câbles contre le réseau ou plan de masse.
- Ajoutant des chemins de câbles reliés de bout en bout.
- Utilisant un câble blindé mis à la masse à chaque bout.

Cette boucle entre masses n'est pas une boucle de masse car elle:

- Diminue l'impédance commune.
- Divise les courants de mode commun.
- Réduit l'effet des champs externes.

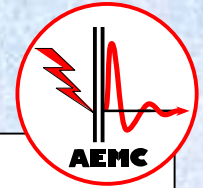
Bruit tolérable entre équipements



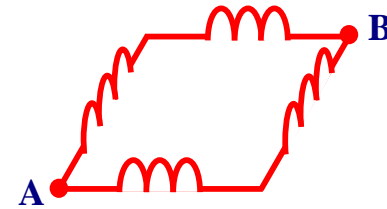
An cas de trouble au-dessus de (B) améliorer l'équipotentialité de l'installation.

En cas de trouble au-dessous de (A) améliorer l'immunité des équipements.

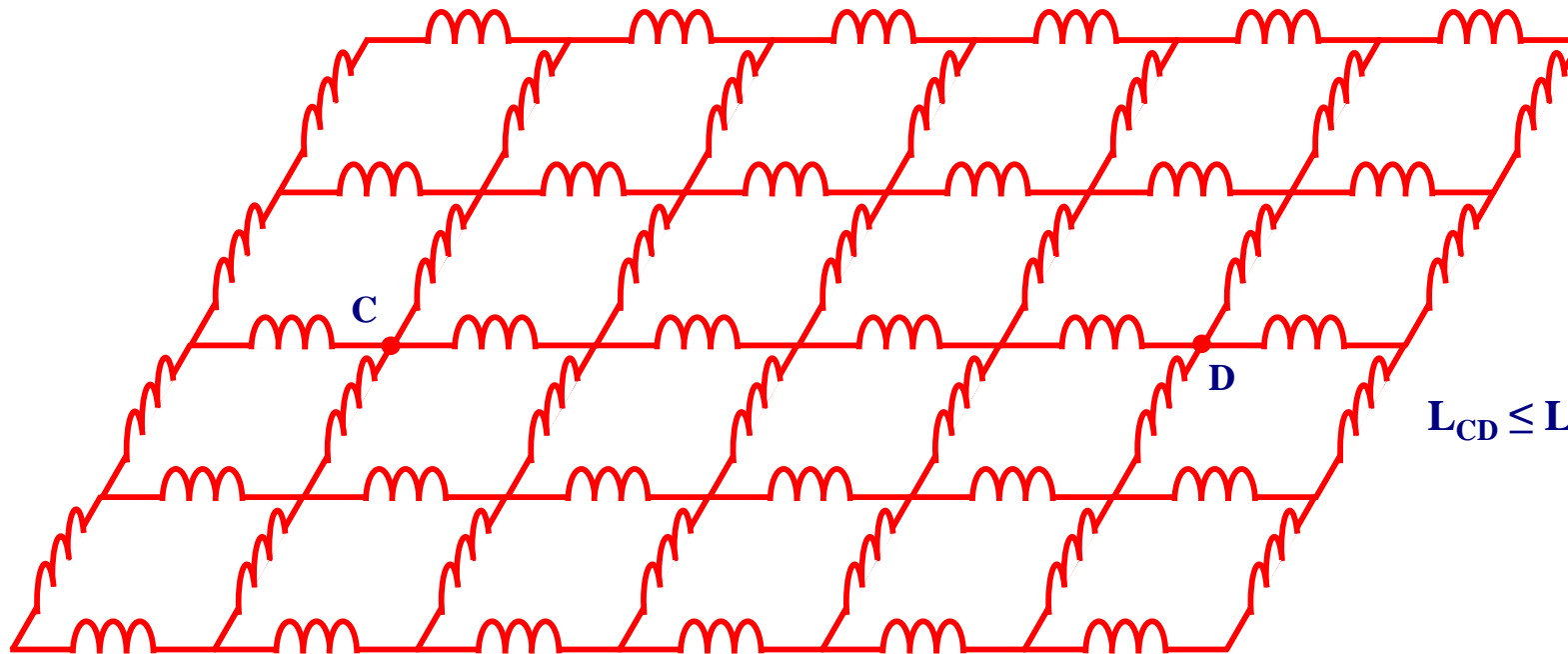
Impédance d'un réseau maillé



 Inductance : L
($L \approx 1 \mu\text{H/m}$)



$$L_{AB} \approx L$$



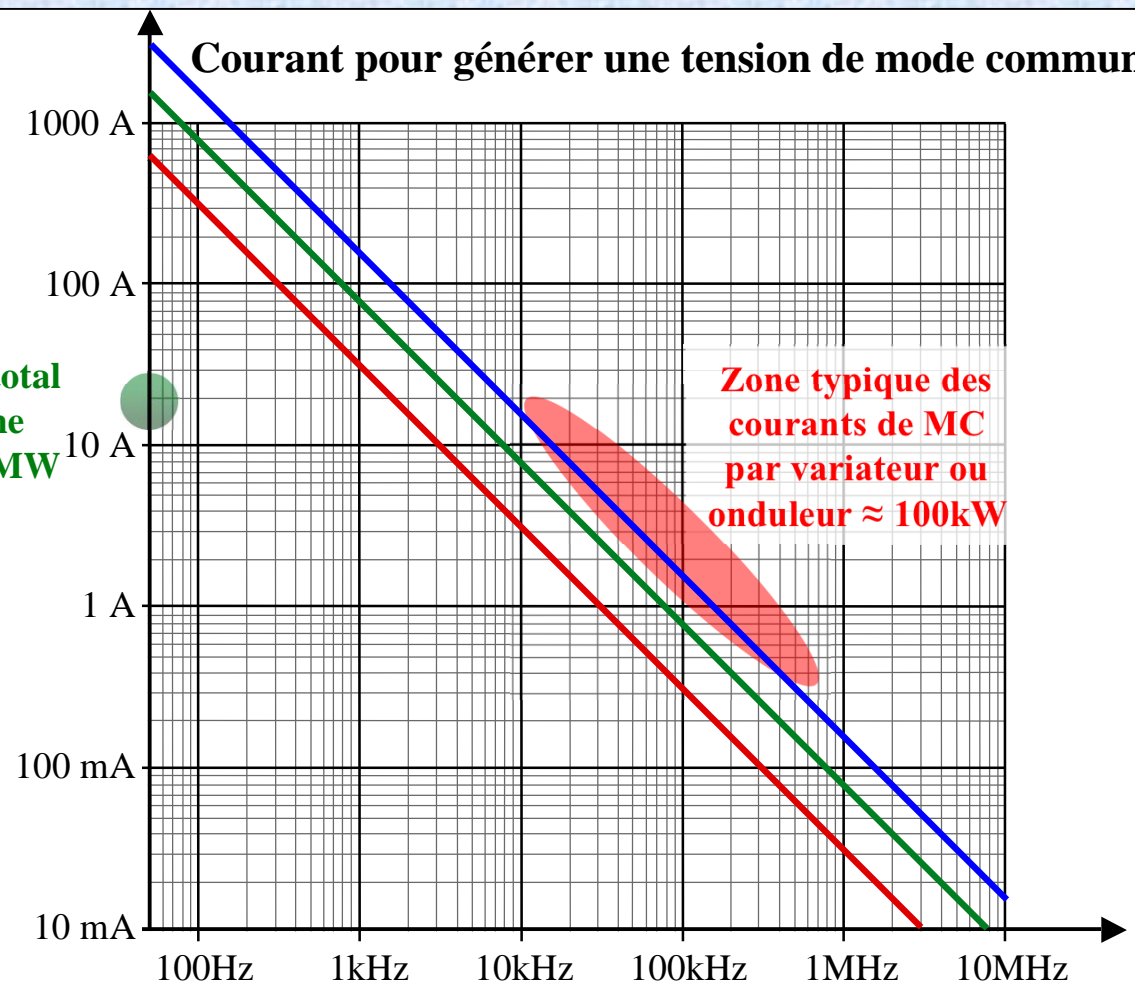
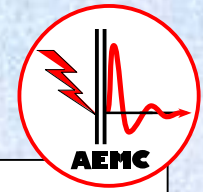
$$L_{CD} \leq L$$

Pour un conducteur longiligne, l'impédance augmente avec sa longueur.

Pour une grille en 2D, l'impédance entre 2 points en dépend pas de leur éloignement.

Pour une grille en 3D, l'impédance entre deux points diminue avec la taille du réseau !...

Courant tolérable dans un réseau maillé

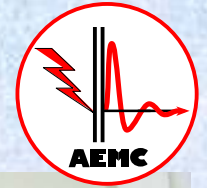


Courant de fuite total
typique dans une
installation de 10MW

Zone typique des
courants de MC
par variateur ou
onduleur $\approx 100\text{kW}$

- Courant dans une grille de 1 m x 1 m
- Courant dans une grille de 2 m x 2 m
- Courant dans une grille de 5 m x 5 m

Conserver la CEM sous contrôle

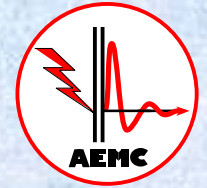


Tous ces chemins de câbles sont interconnectés à chaque occasion, y compris aux armoires à chaque bout, créant ainsi un réseau de masse unique, économique, en 3D, en utilisant tous les conducteurs existants.

(Amical merci à Keith ARMSTRONG pour ses excellents conseils).



Conclusions



- En industrie, la plupart des problèmes CEM apparaissent **au-dessus 1 MHz**.
- Un **schéma de câblage en étoile** crée une grande **impédance commune** entre équipements interconnectés.
- Un **schéma de câblage en étoile** provoque de vastes **boucles de masse** entre équipements interconnectés.
- Un **schéma de câblage en étoile** crée une importante **inductance mutuelle** entre fils parallèles voisins (par diaphonie inductive).
- Un **schéma de câblage en étoile** n'est bon que pour le **conducteur neutre** (pour limiter la circulation de courants BF dans le réseau de masse).
- Un **réseau de masse maillé** est favorable à la CEM jusque plusieurs MHz (éventuellement > 10 MHz). Un tel réseau de masse est assez équipotentiel pour relier sans risque les écrans des câbles blindés à chaque bout.
- Des **câbles blindés** bien reliés sont très efficaces de 1 MHz à plusieurs GHz.