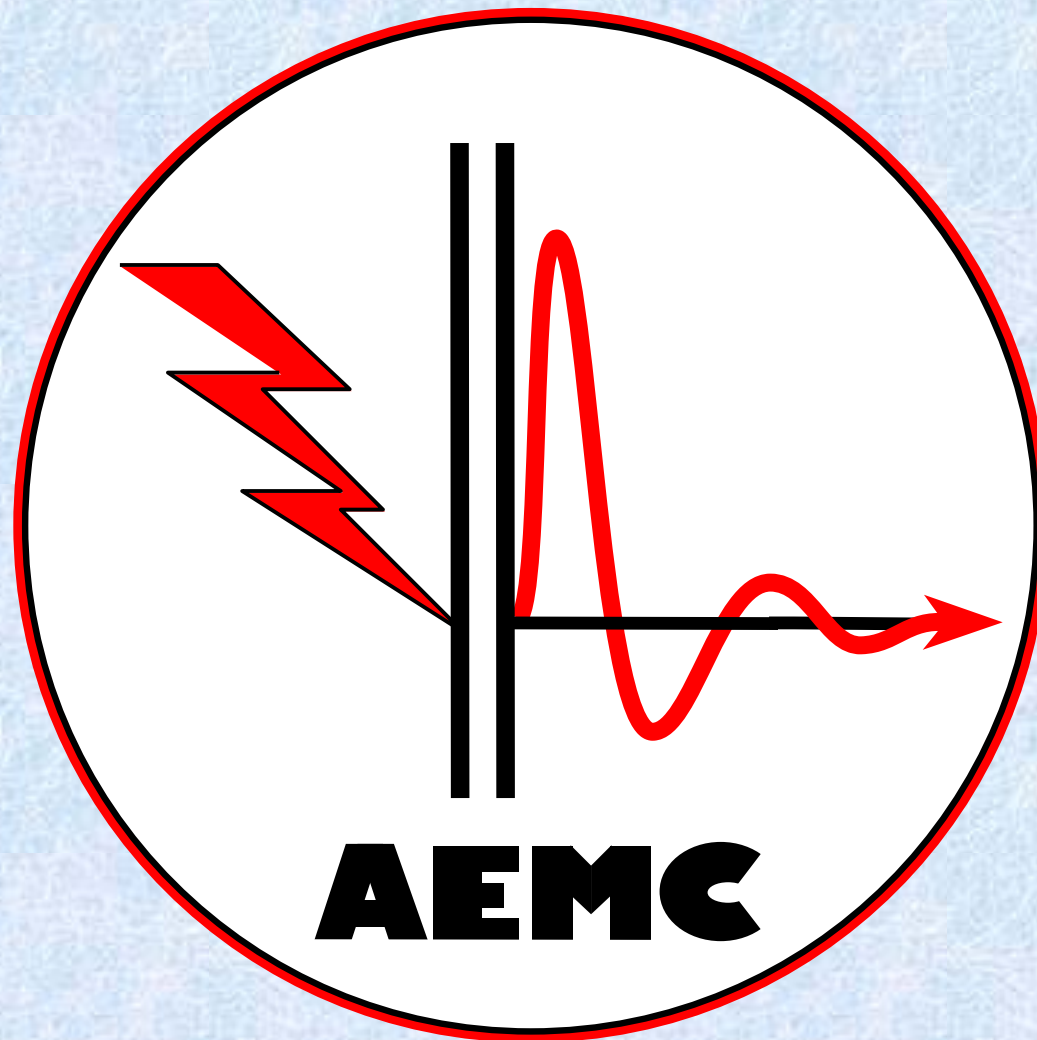
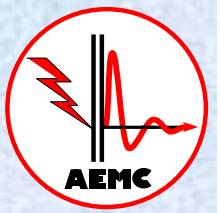


# CEM Scientifique et Industrielle



Alain CHAROY - [a.charoy@aemc.fr](mailto:a.charoy@aemc.fr)

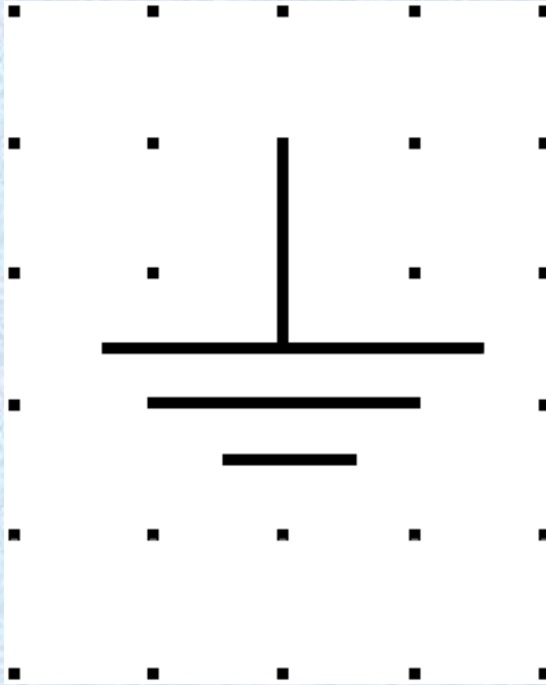
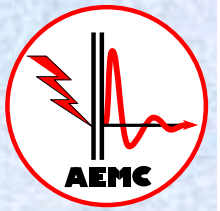
# Constat général pour commencer



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.

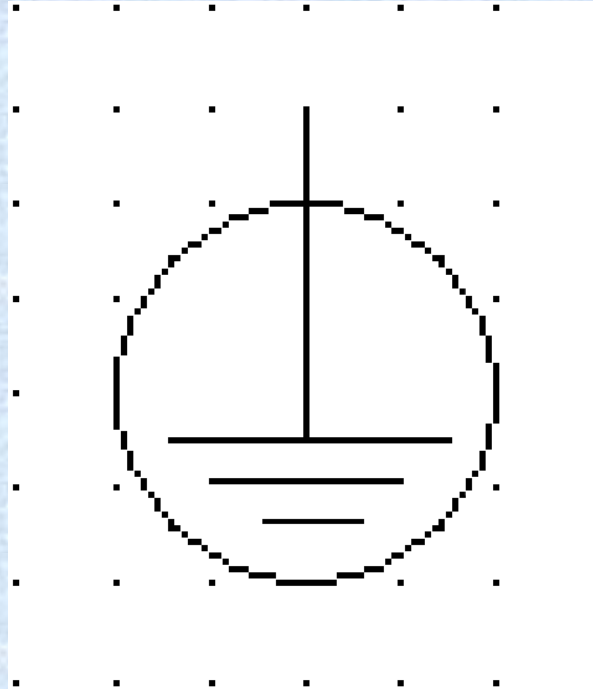
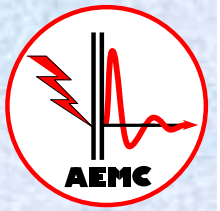
# CEI 60617 - Symbole S00200



<b>Nom:</b>	Prise de terre (earth, general symbol)
<b>Autres noms:</b>	Ground (US), grounding (US)
<b>Pour être clair:</b>	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)**

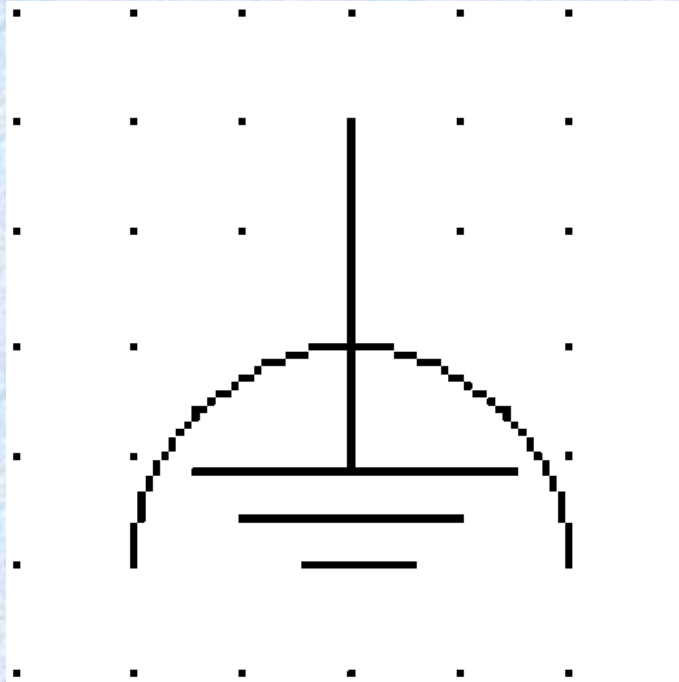
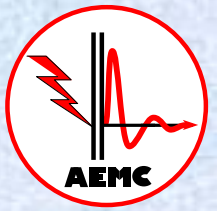
**Autres noms:**

**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:**

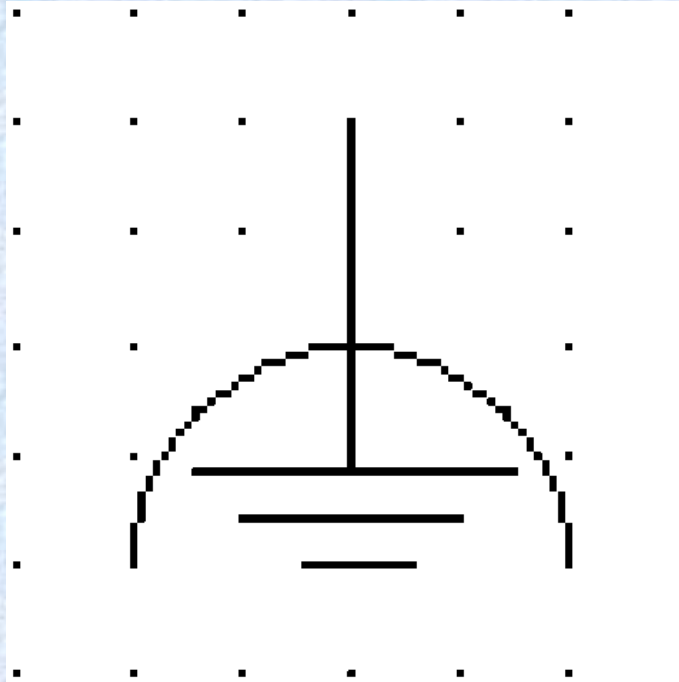
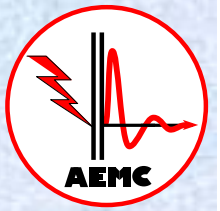
**Obsolète - référence historique uniquement**

**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)**

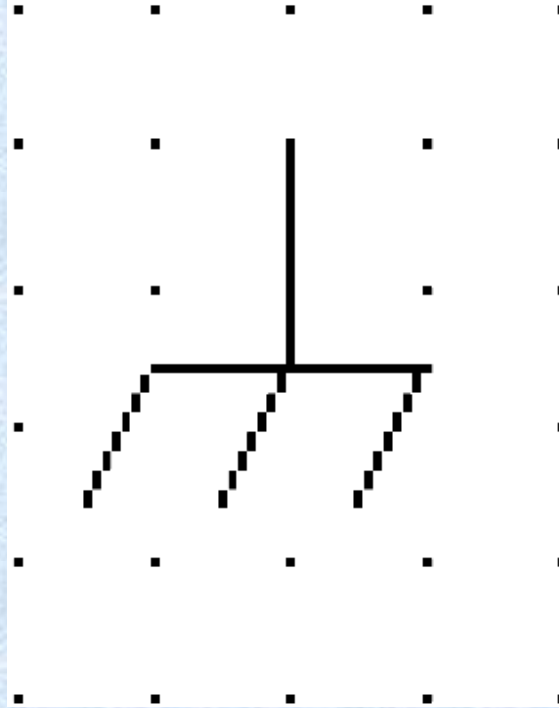
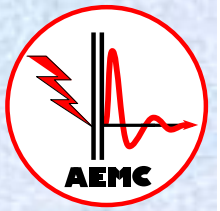
**Autres noms:**

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

**Pour être clair:**

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

# CEI 60617 - Symbole S00203



**Nom:**

**Châssis**

**Autre nom:**

**Frame**

**Statut:**

**Obsolete - Référence historique uniquement**

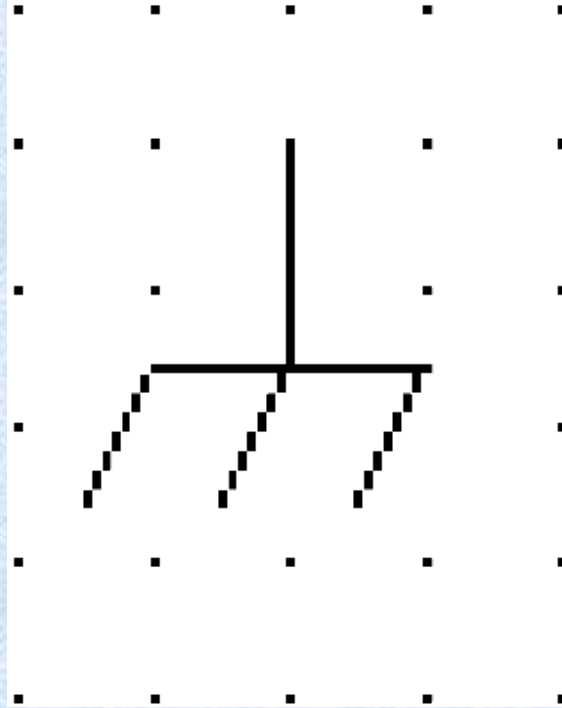
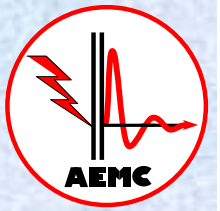
**Pour être clair:**

**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 !!!**

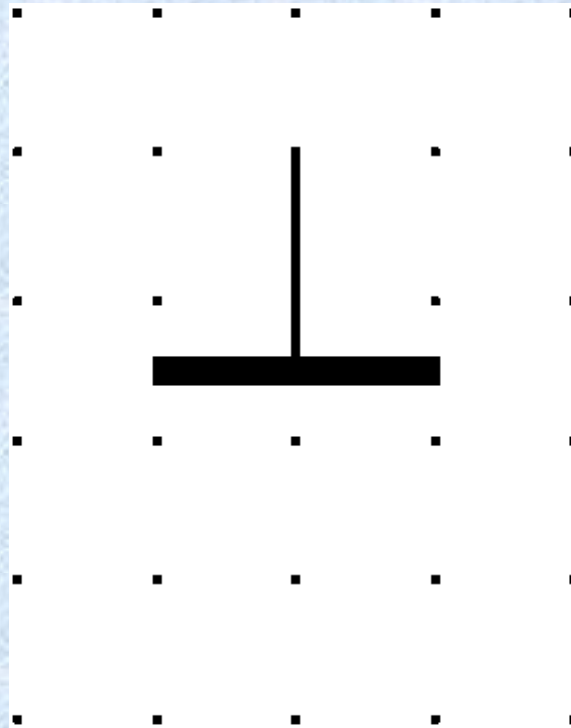
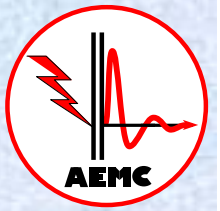
**Il n'y a plus de symbole CEI pour la masse.**

**La nouvelle (2005) définition est perturbante.**

**Conservons ce symbole pour la masse (maillée).**



# CEI 60617 - Symbole S01410



**Nom:**

**Liaison équipotentielle fonctionnelle**

**Autres noms:**

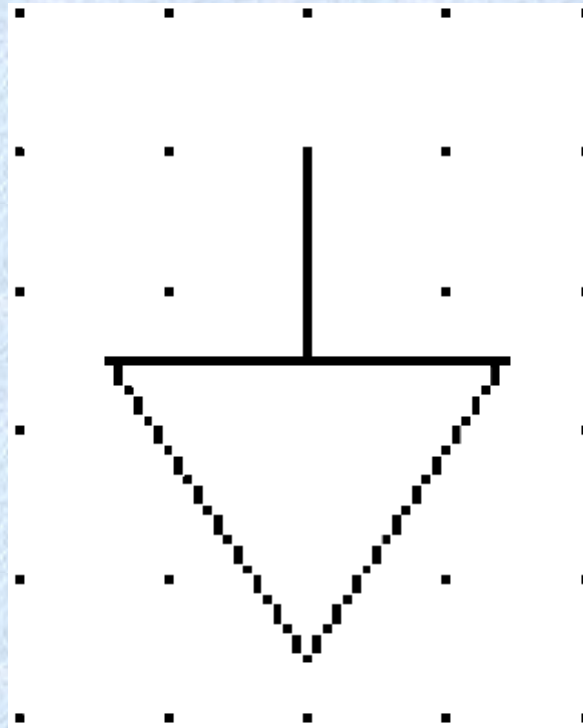
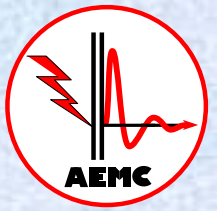
**Functional bonding conductor / terminal**

**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 :**

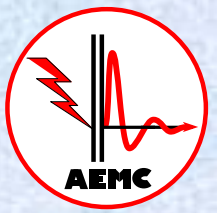
**Pourquoi inverser le sens des symboles ?**

**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.

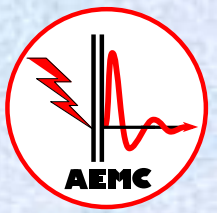
(CEI 60050 - 195-01-01 - Pas de symbole pour cette définition)

**Que penser?** Il n'y a aucune « terre de référence » au monde!  
C'est un concept purement imaginaire (idéal).  
Par chance, cette représentation mentale 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 (1,6 mH en série).

# Définition CEI: 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).

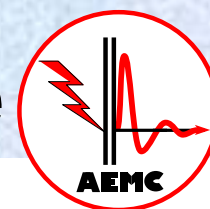
**Que penser?** **Aucun problème avec cette définition, mais...**

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

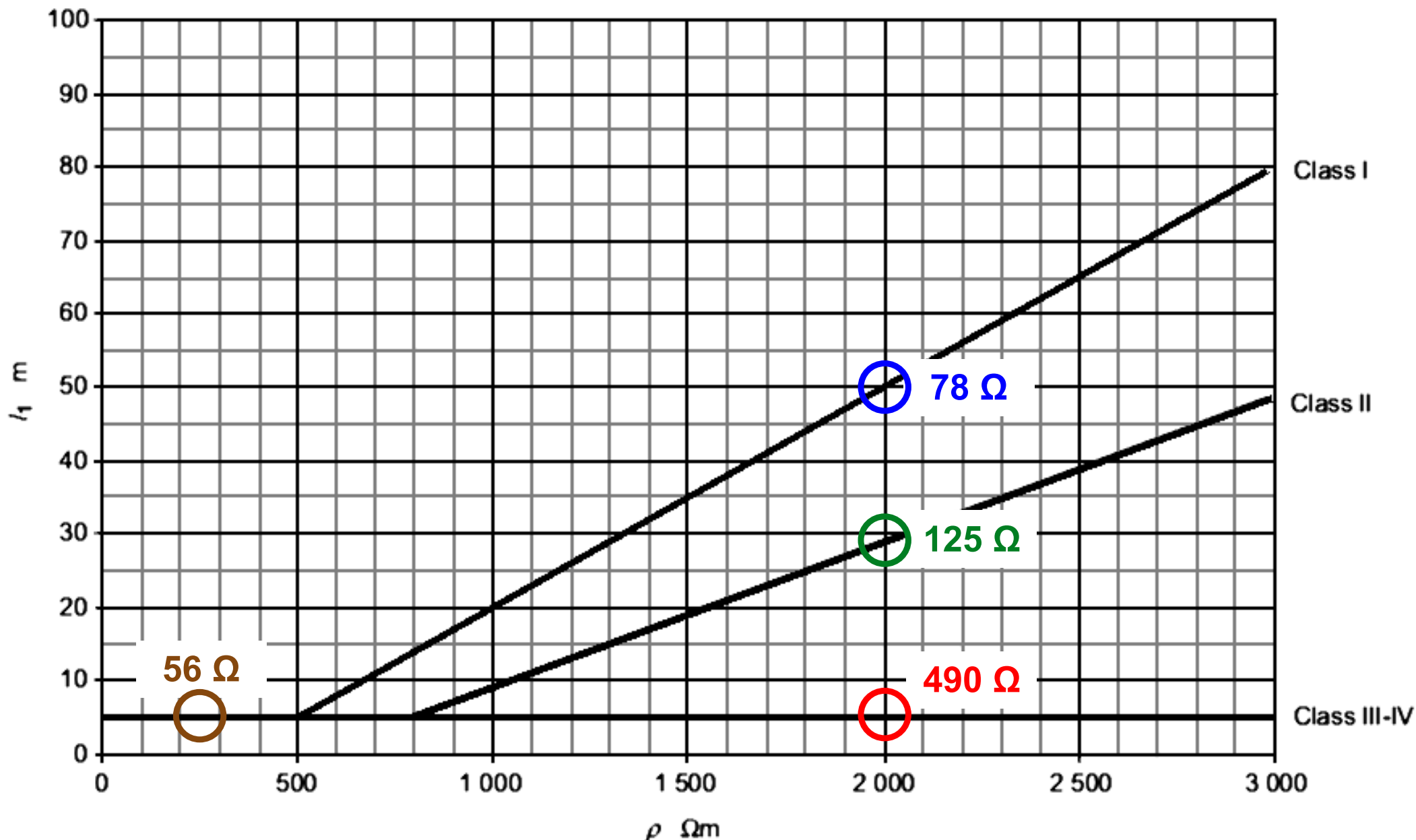
**Quelle est la bonne valeur de résistance de terre?**

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

# Résistance maxi d'une électrode de terre

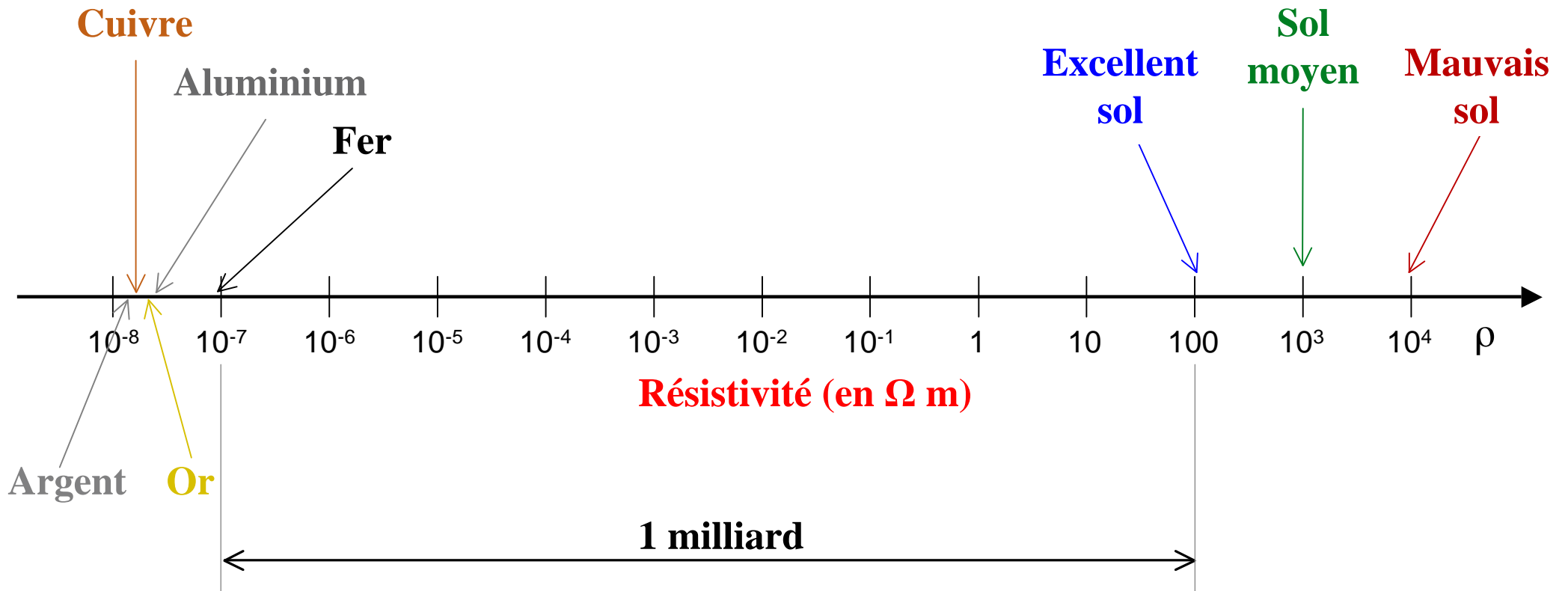
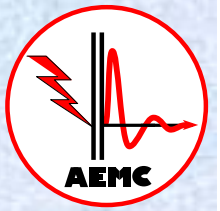


CEI 62305-3: Protection contre la foudre - Dommages physiques sur les structures & risques humains



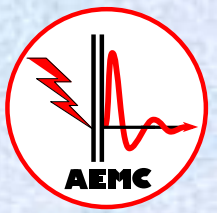
Longueur mini  $l_1$  de chaque électrode de terre, selon la classe du SPF (2 électrodes requises)

# 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.**

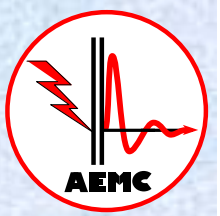
**Elle est garantie par le maillage des masses, y compris des PE.**

---

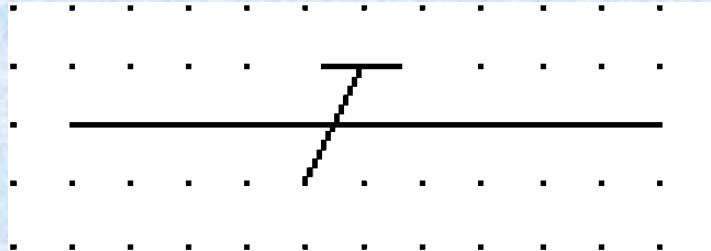
**Une équipotentialité suffisante est aussi nécessaire à la CEM, à toutes les fréquences, du continu à plusieurs GHz.**

**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.**

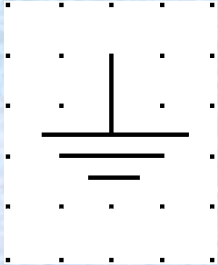
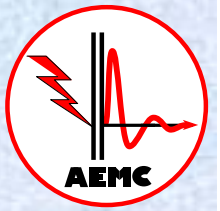
**Mais en environnement bruyant, un conducteur PE ne suffit pas à la CEM : un réseau de masse maillé est requis.**

**En environnement très perturbé, une tôle est meilleure.**

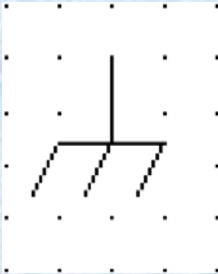
**En environnement CEM extrême, une chambre blindée (ou des baies / armoires blindées) peuvent s'avérer nécessaires.**



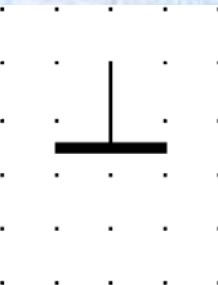
# Symboles CEM importants



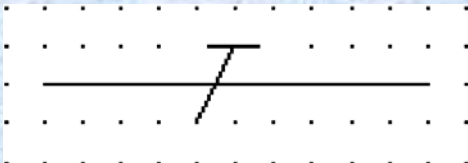
**terre** (tant pour la sécurité que la protection foudre)



**Masse** (châssis relié au réseau de masse maillé)

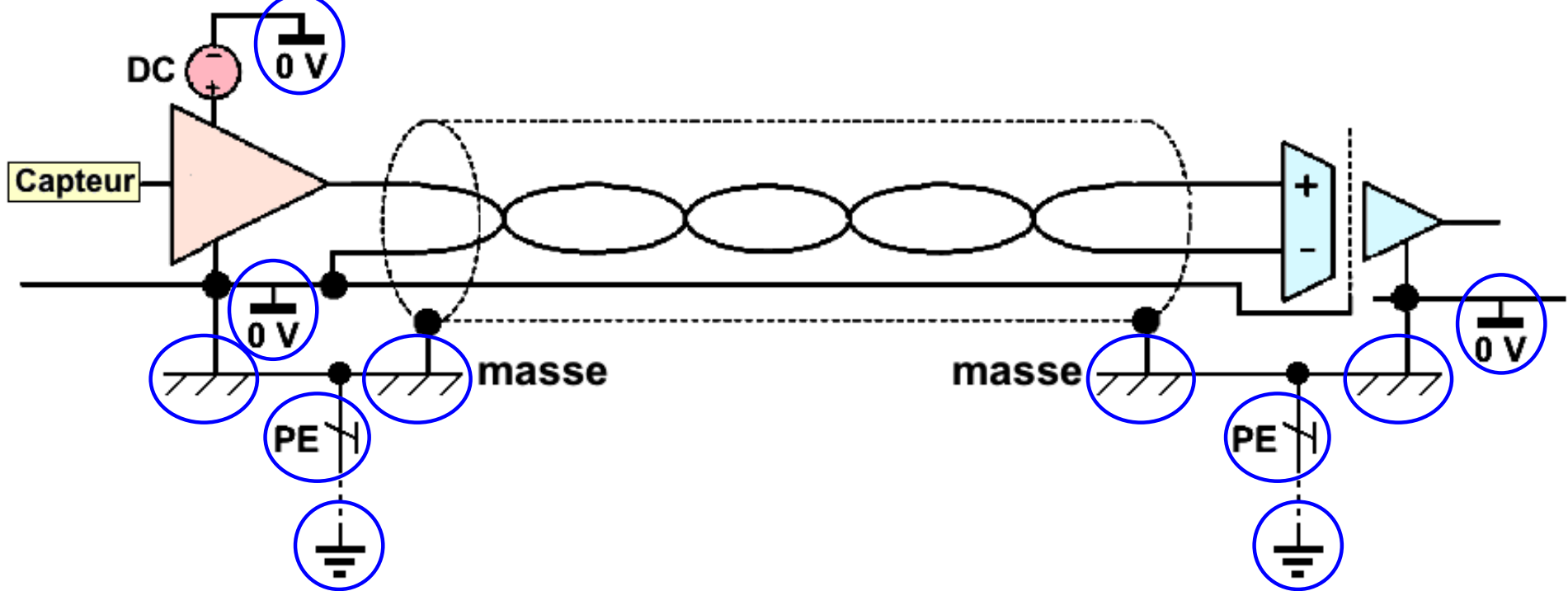
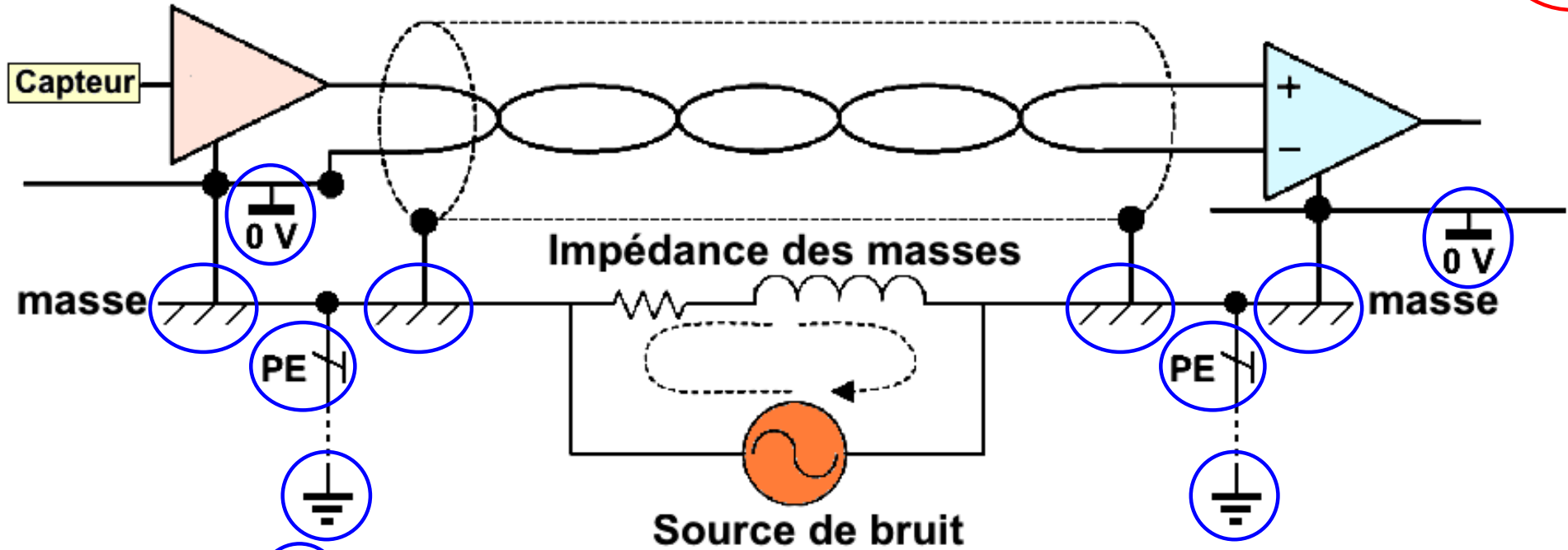
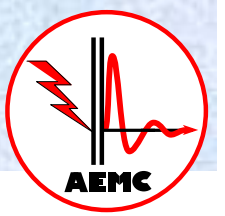


**0 V** (il peut être flottant ou non)

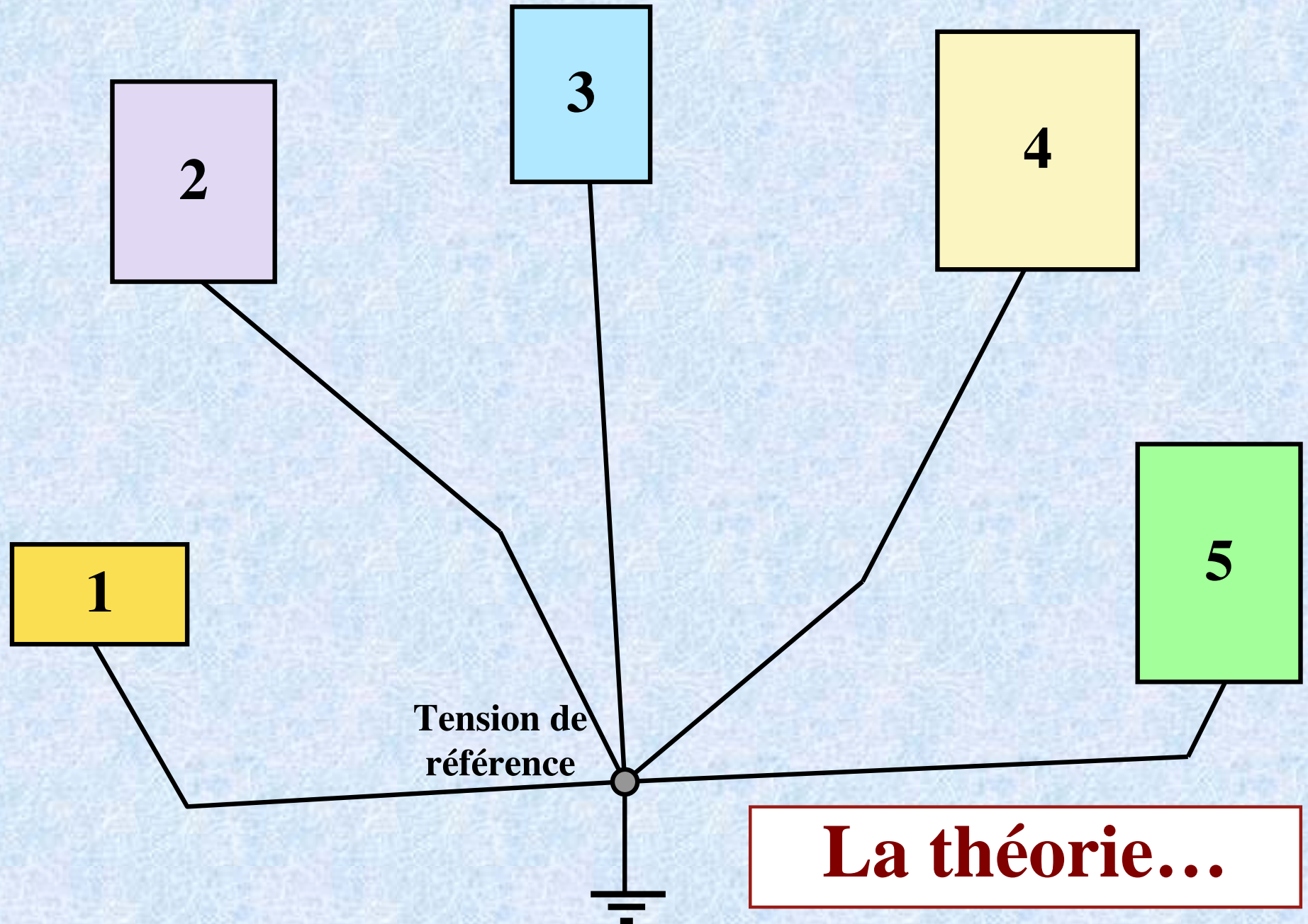
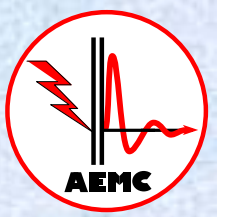


**Conducteur PE** (une partie du réseau de masse)

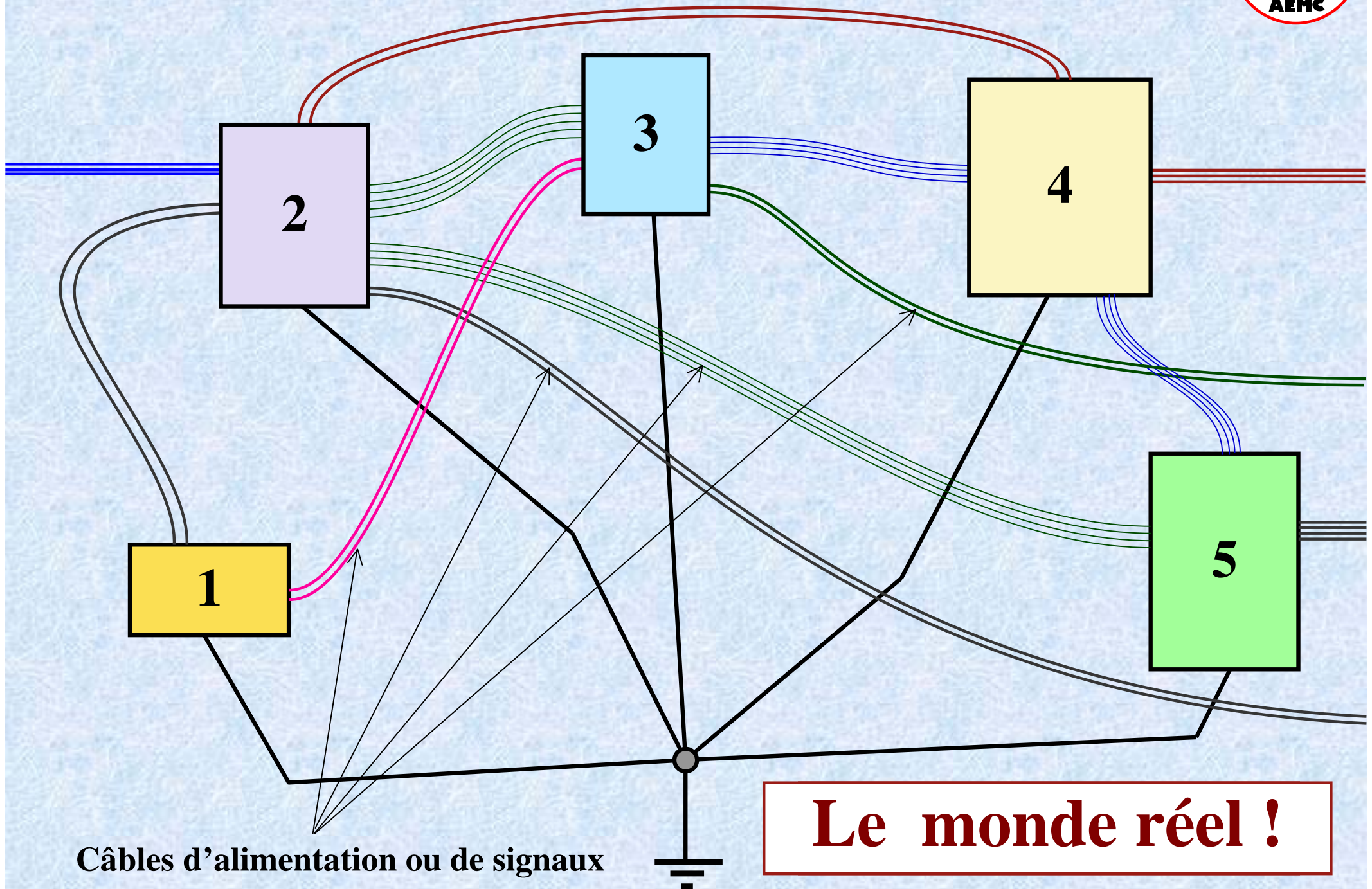
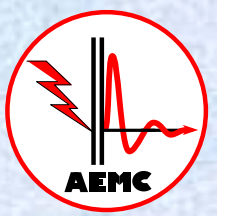
# Exemples d'utilisation de symboles



# Câblage en étoile : le principe



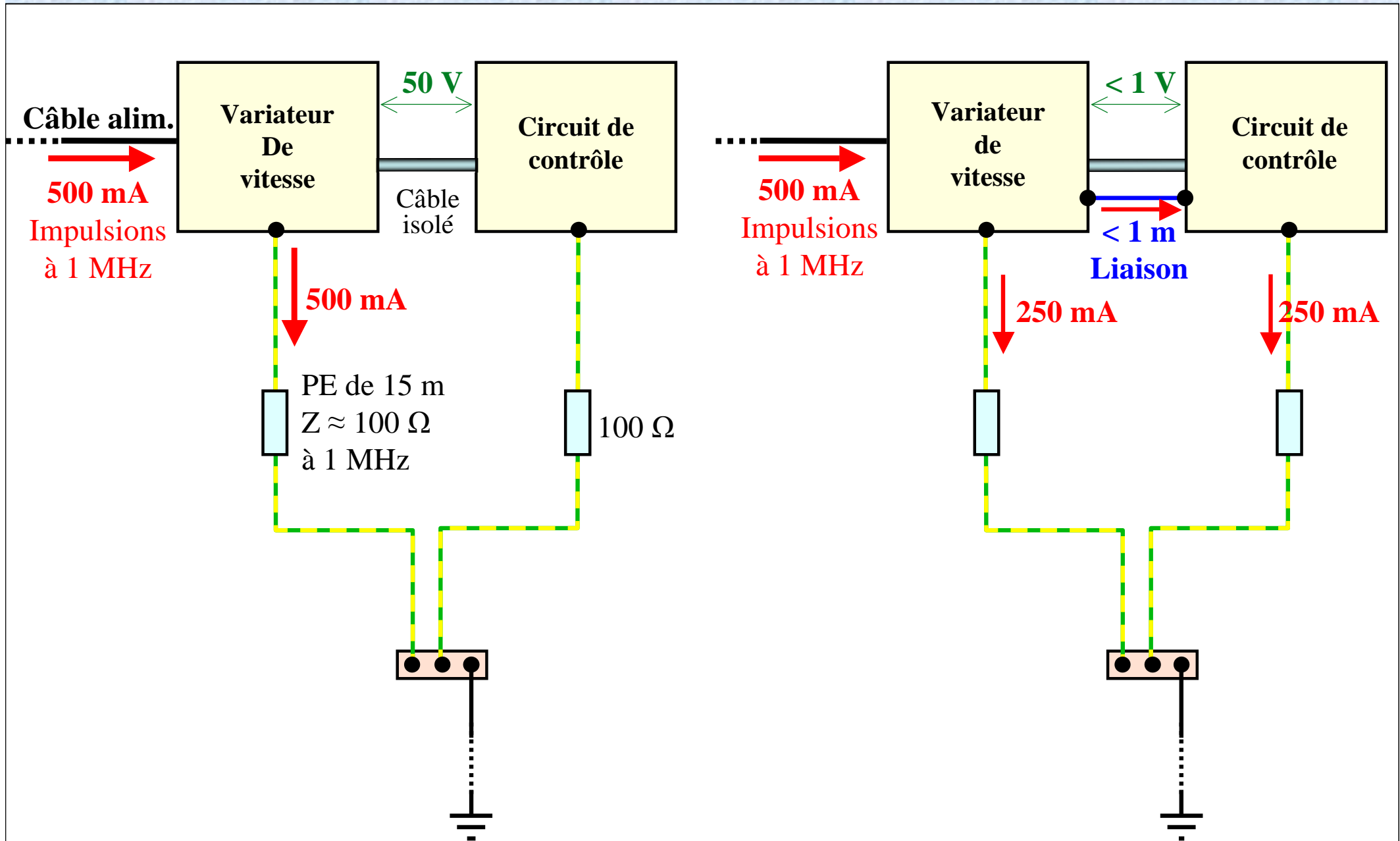
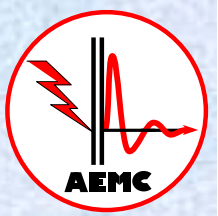
# Câblage en étoile : la réalité



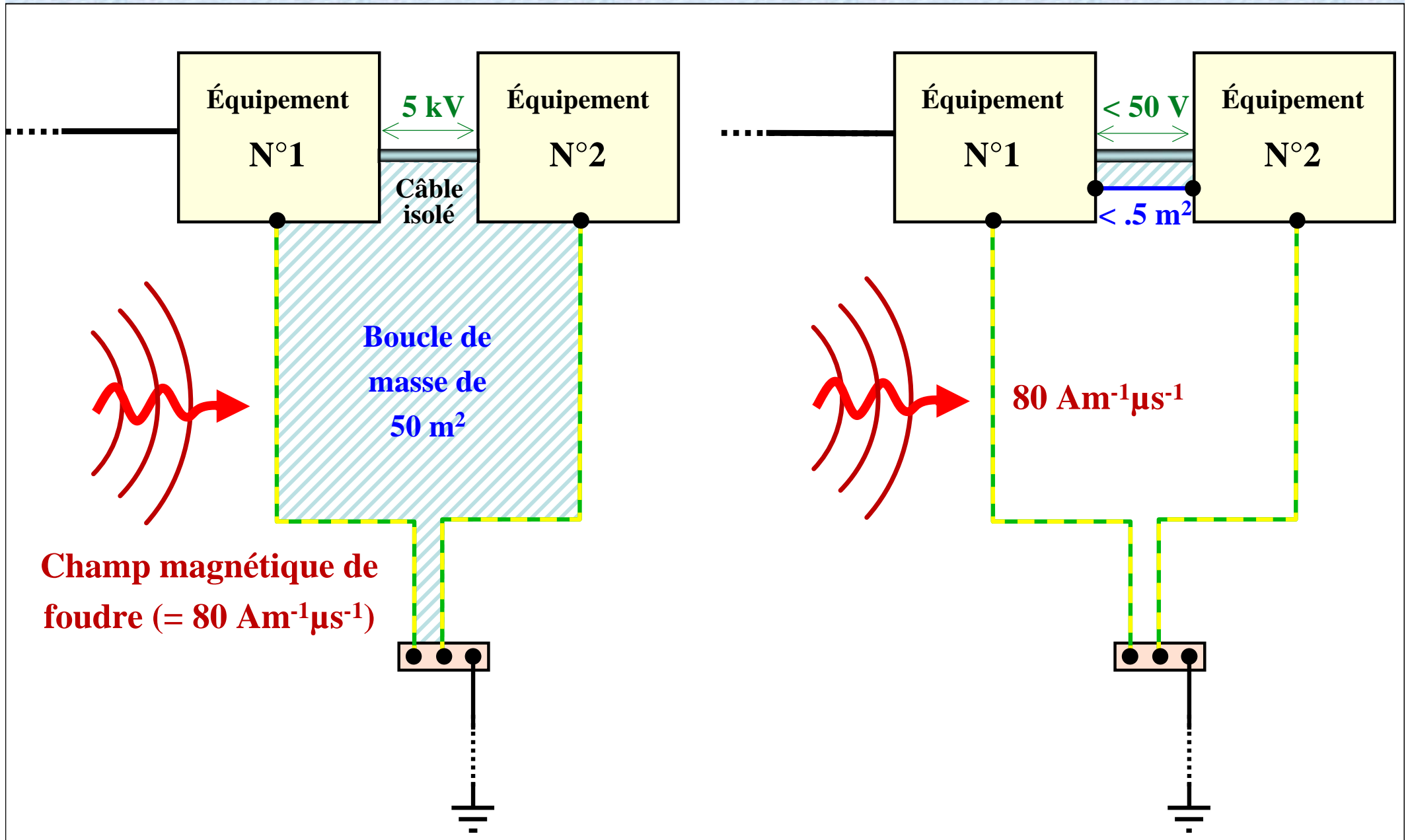
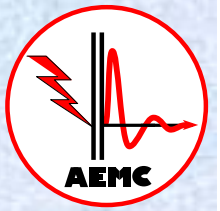
Câbles d'alimentation ou de signaux

**Le monde réel !**

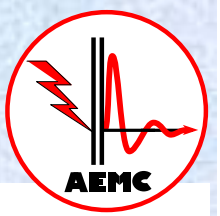
# Câblage en étoile = impédance commune



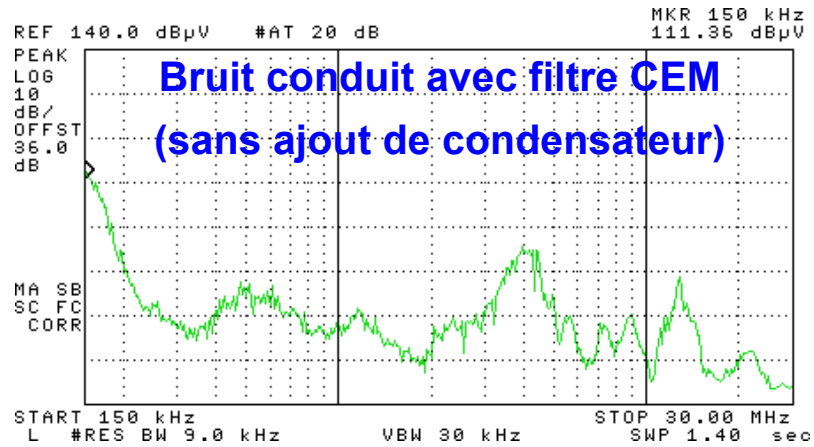
# Câblage en étoile = Boucle de masse



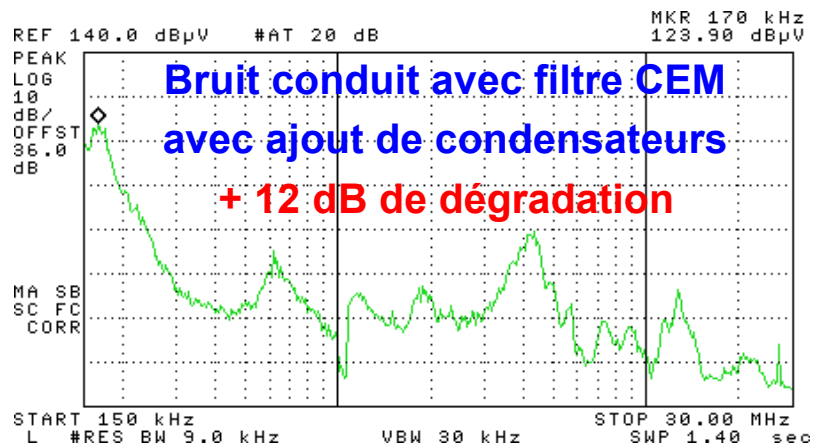
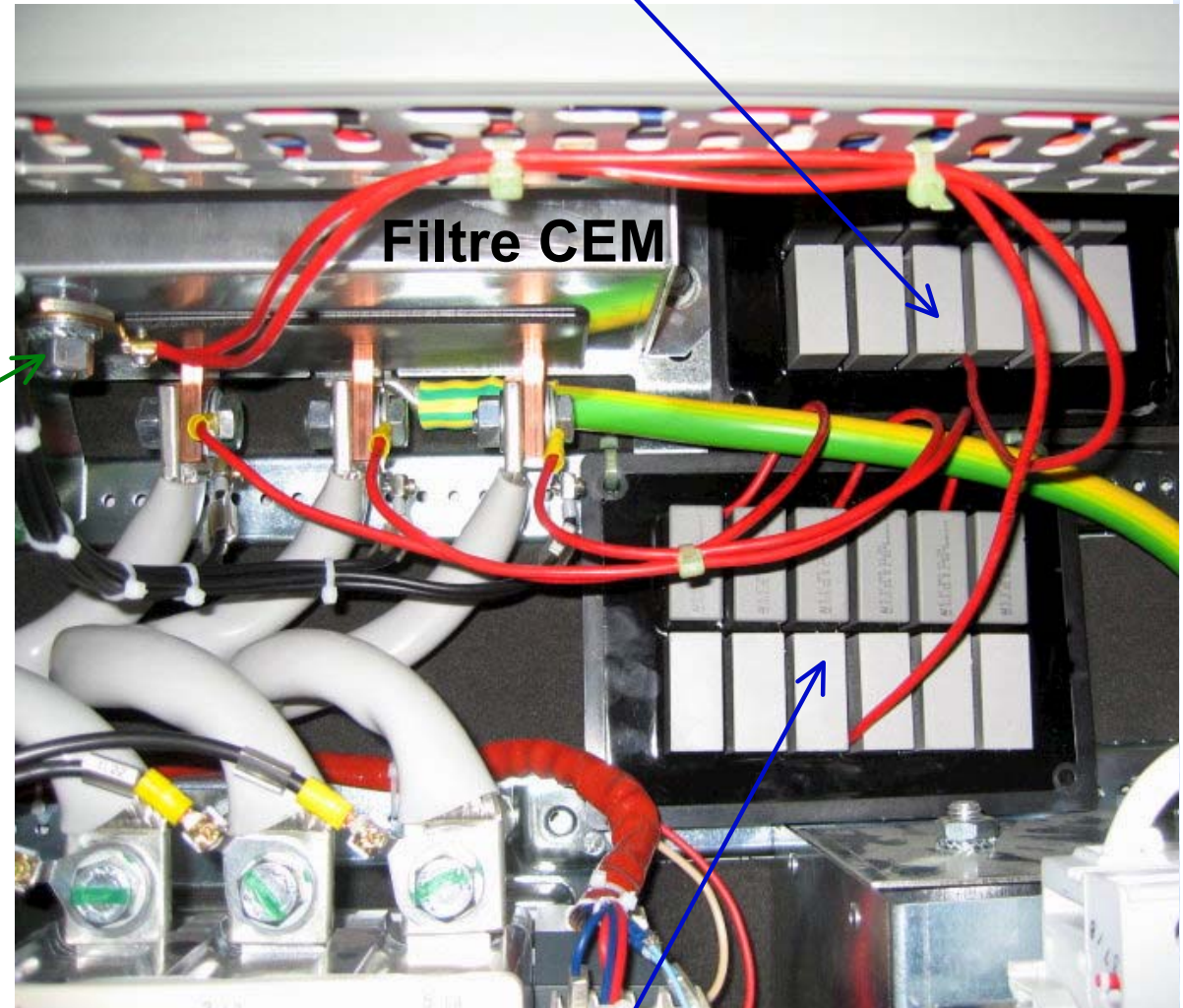
# Condensateurs ajouté en étoile



Condensateurs ajoutés en amont (3 x 2,2  $\mu$ F)

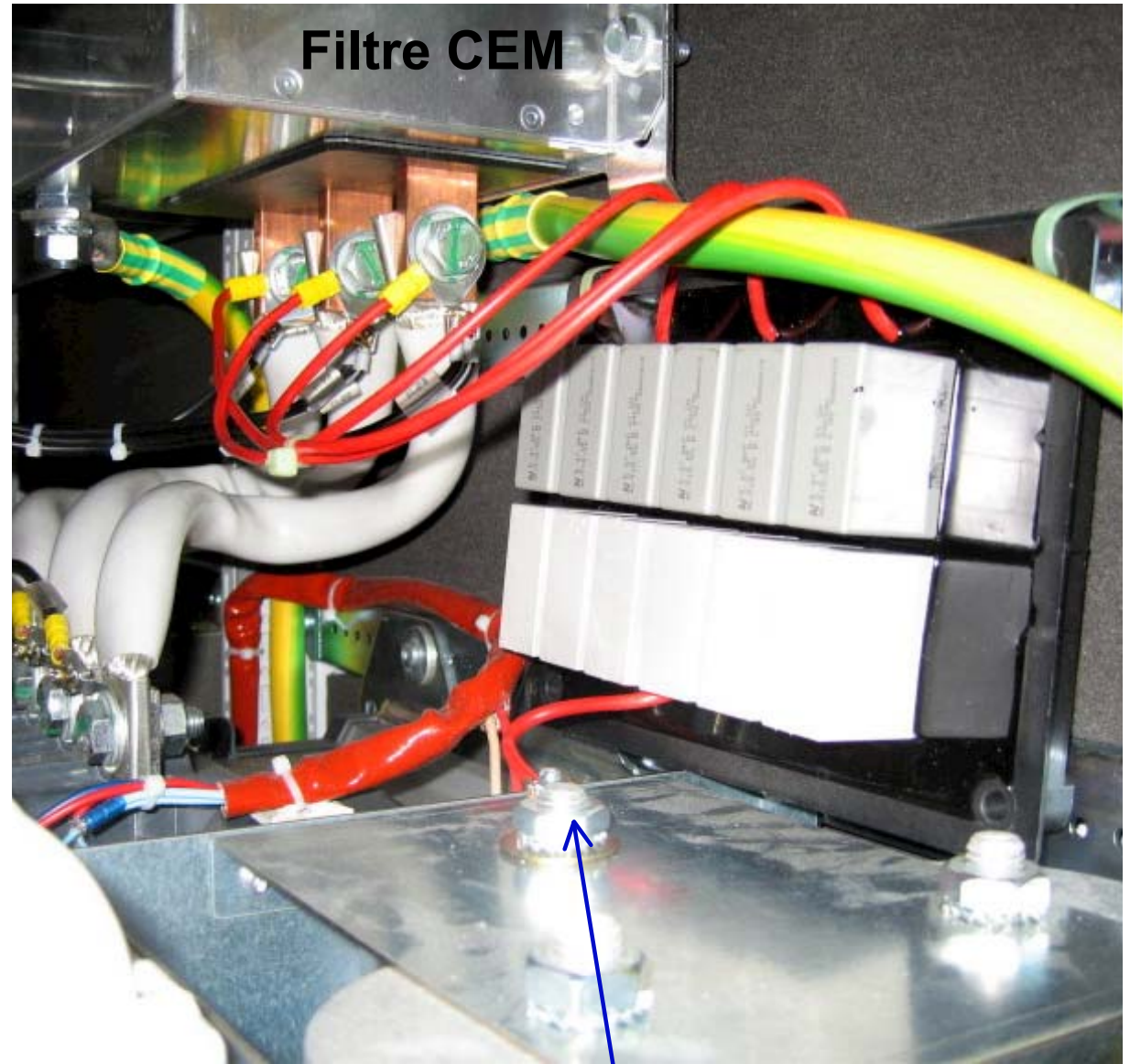
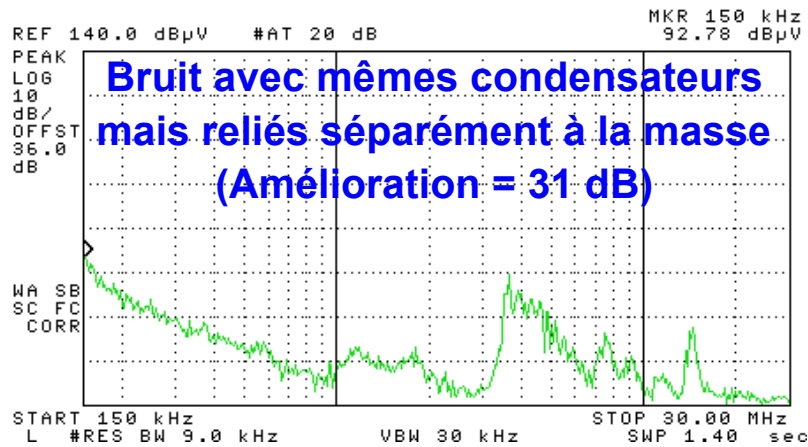
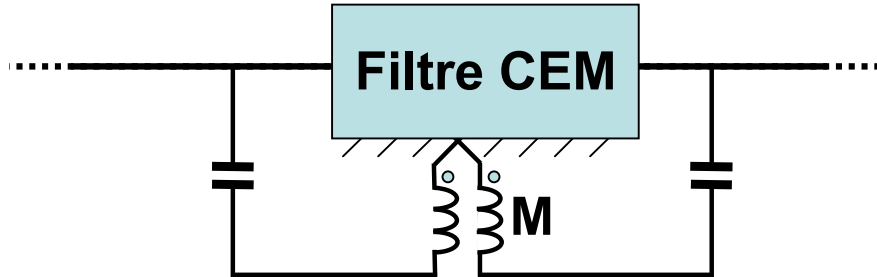
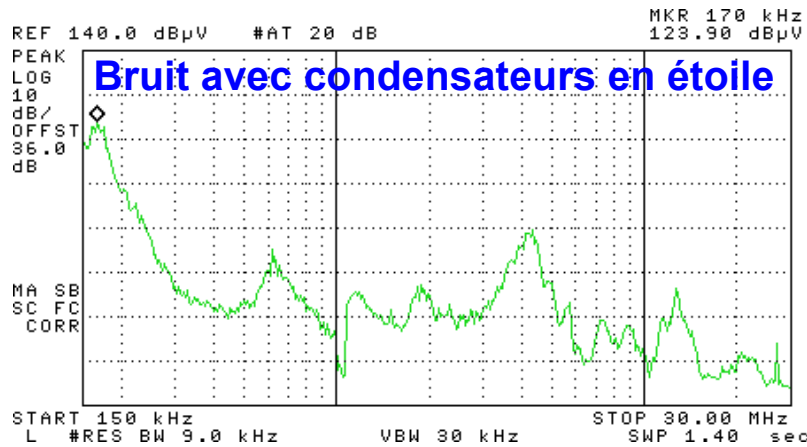
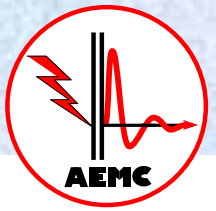


Point commun



Condensateurs ajoutés en aval (3 x 2,2  $\mu$ F)

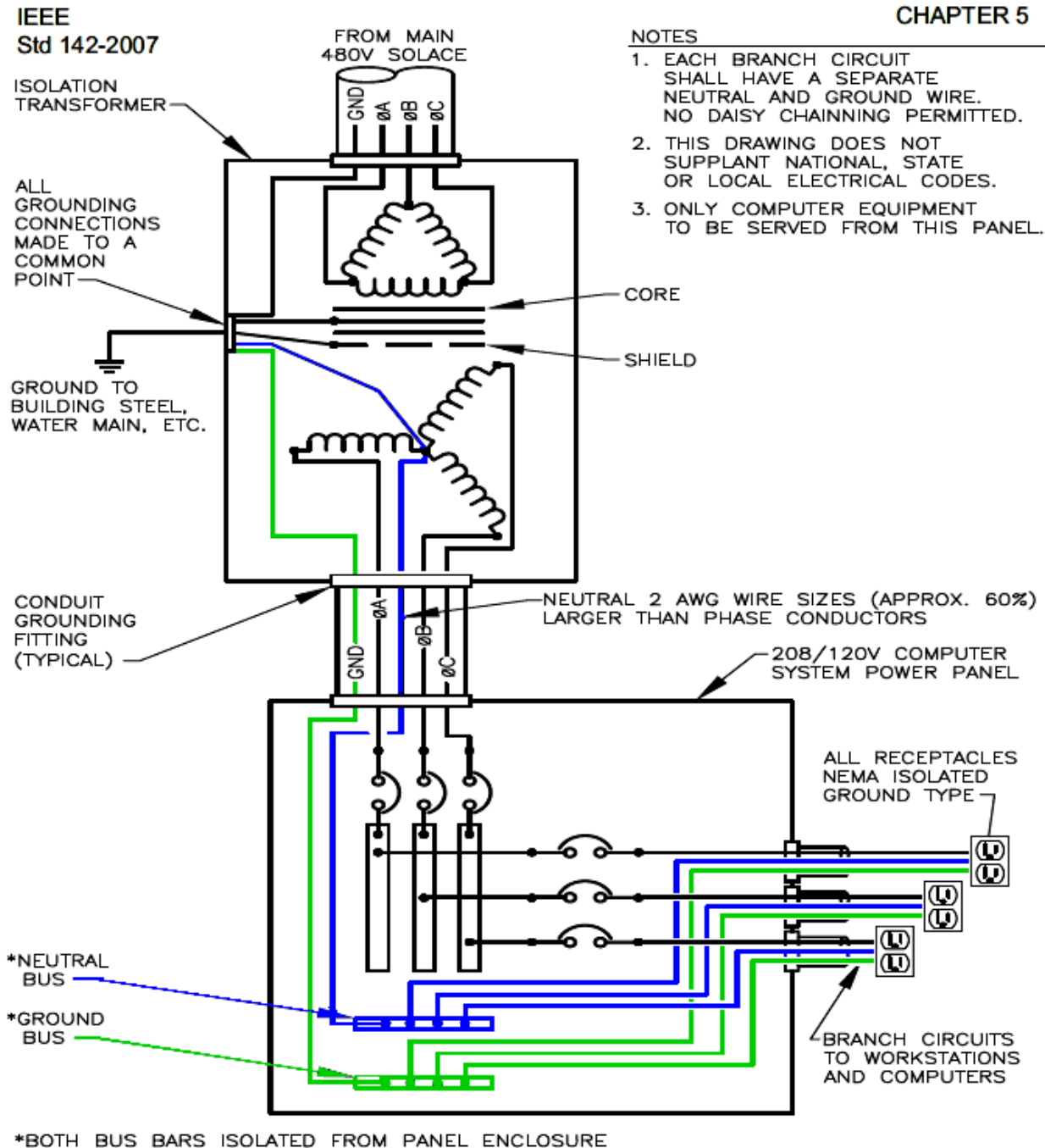
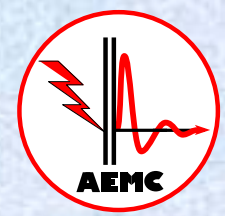
# Câblage en étoile = inductance mutuelle



**Meilleur câblage (malgré des fils trop longs)**



# Une norme IEEE défectueuse



**CORRECT:**

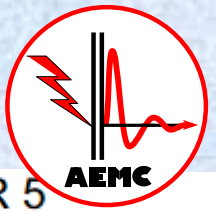
**Raccordement du conducteur neutre à la terre en un seul point.**

**ERREUR:**

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

Figure 5-11—Recommended power distribution—computer system

# Médiocre distribution d'alimentation



CHAPTER 5

IEEE  
Std 142-2007  
BUILDING STEEL

Grande  
boucle  
de masse

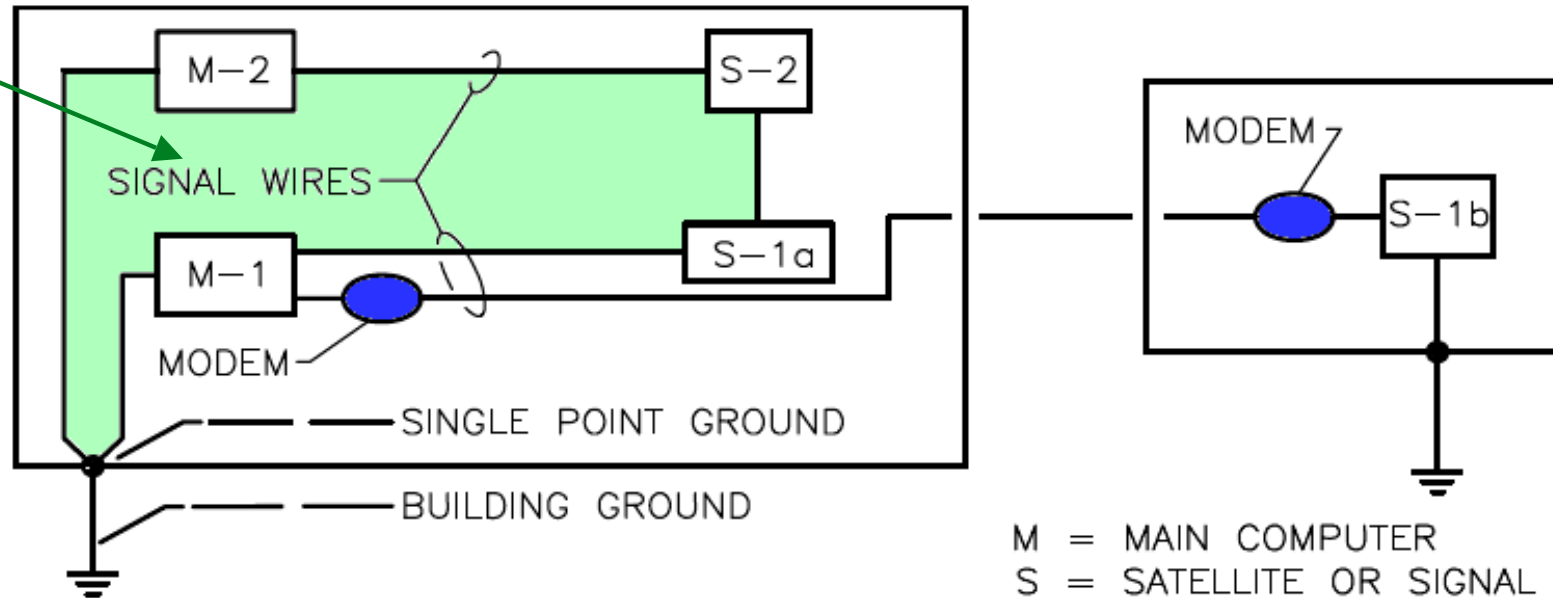
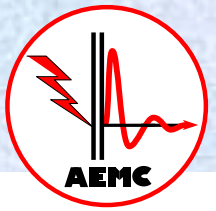


Figure 5-8—Zero noise pickup from single-point grounding of two-computer systems

**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

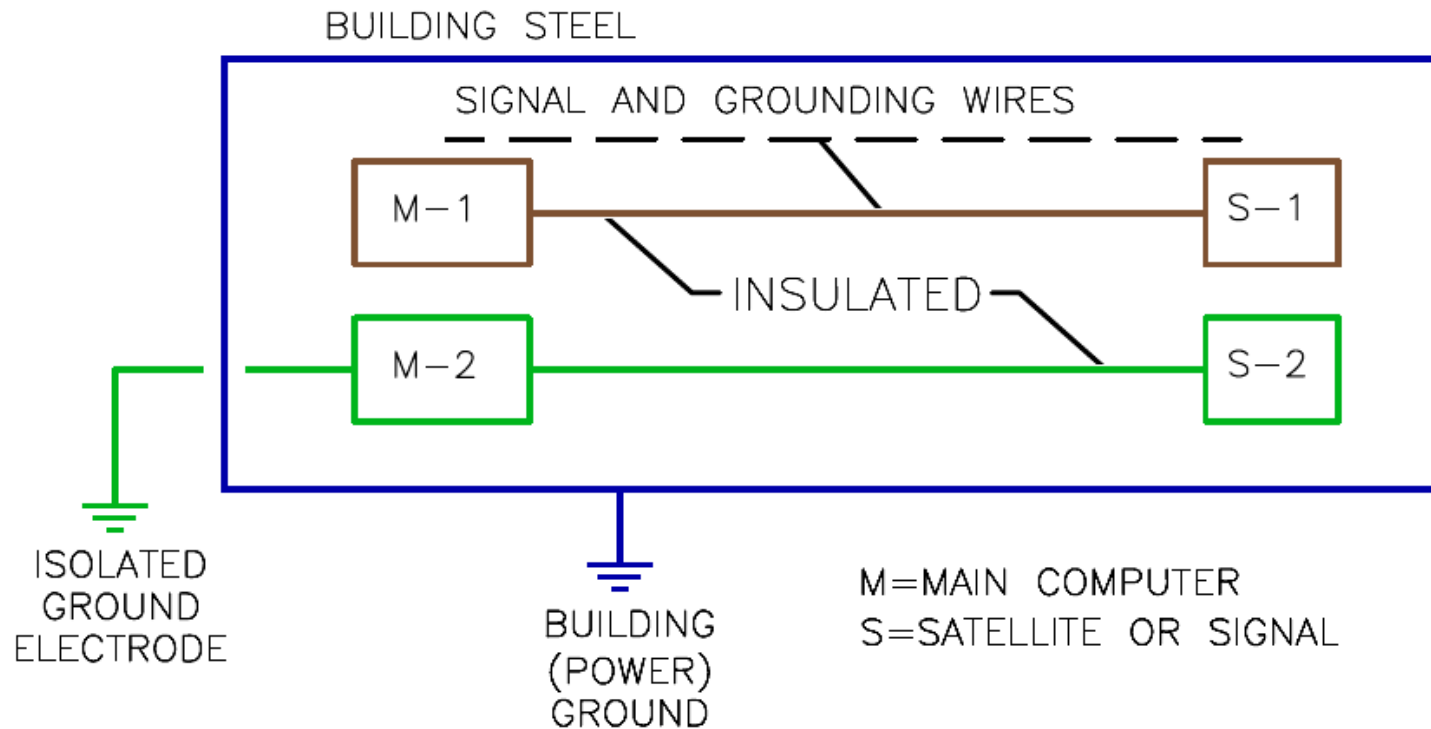
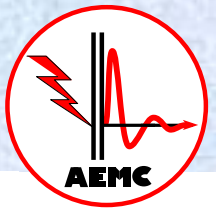


Figure 5-4—Isolated grounding of computers

**CORRECT:** Rien !

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

# Electrodes de terre séparées



IEEE  
Std 142-2007

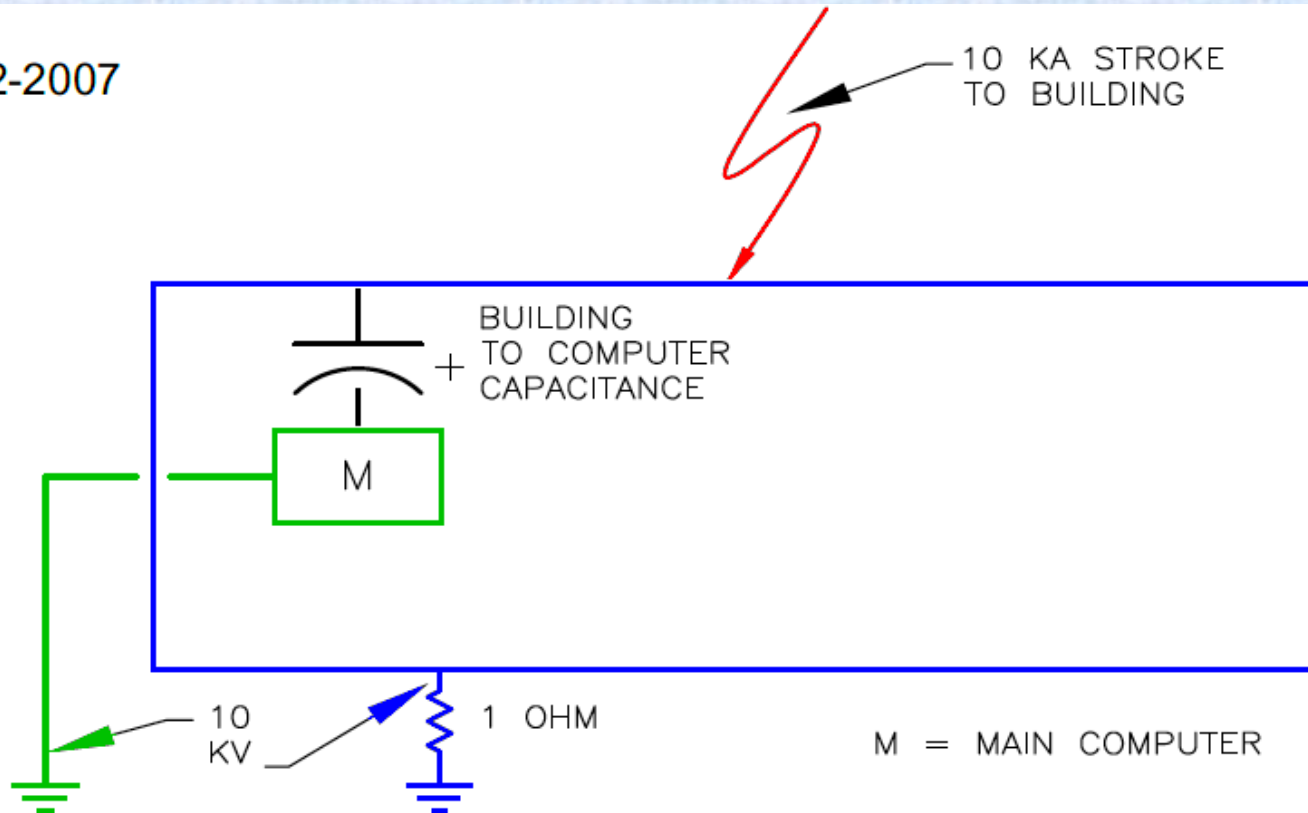
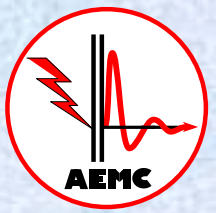


Figure 5-5—Effects of stroke to building with isolated grounding electrode  
(not recommended)

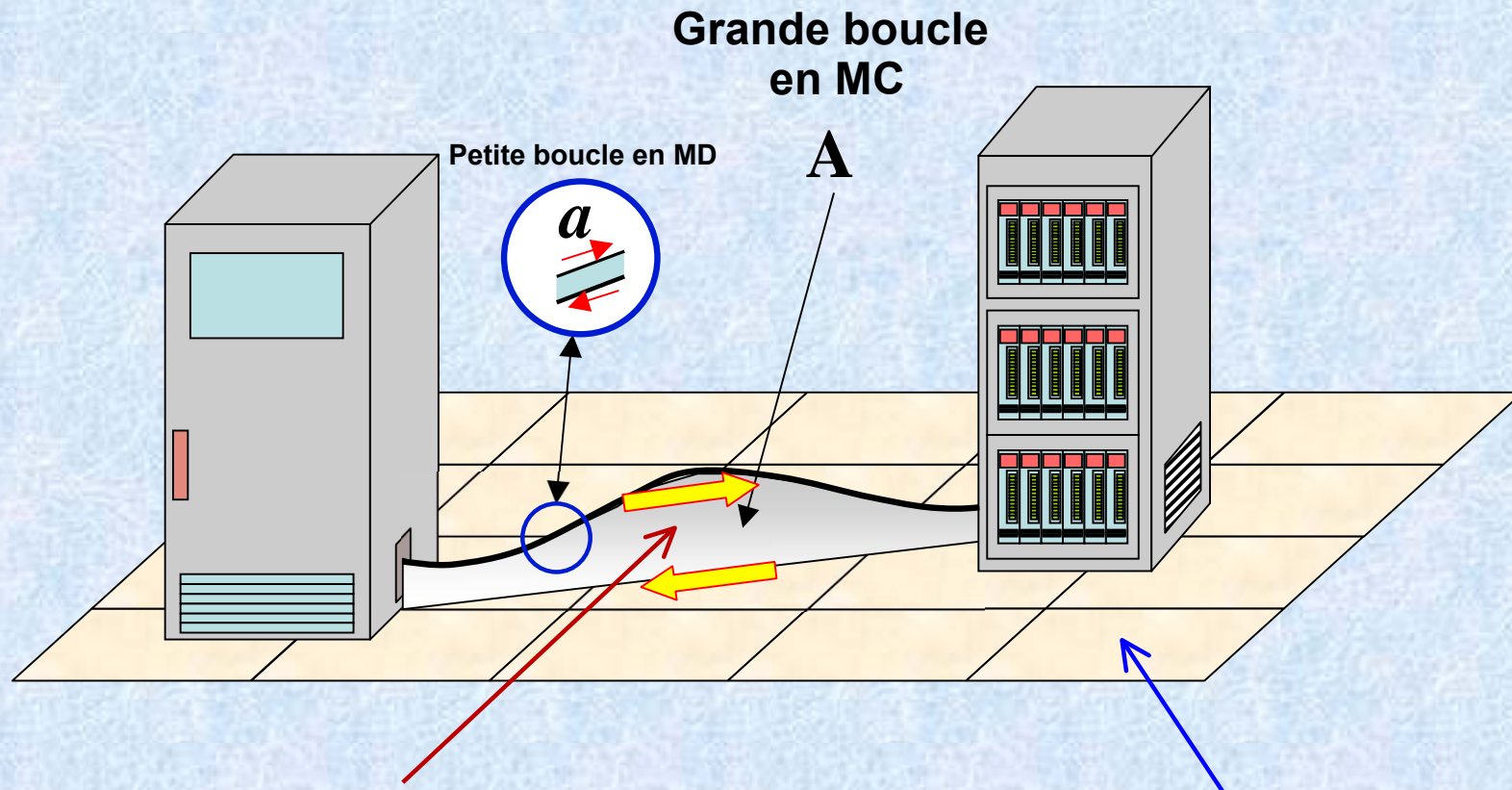
**Sécurité:** 2 terres accessibles non reliées sont illégales.

**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.

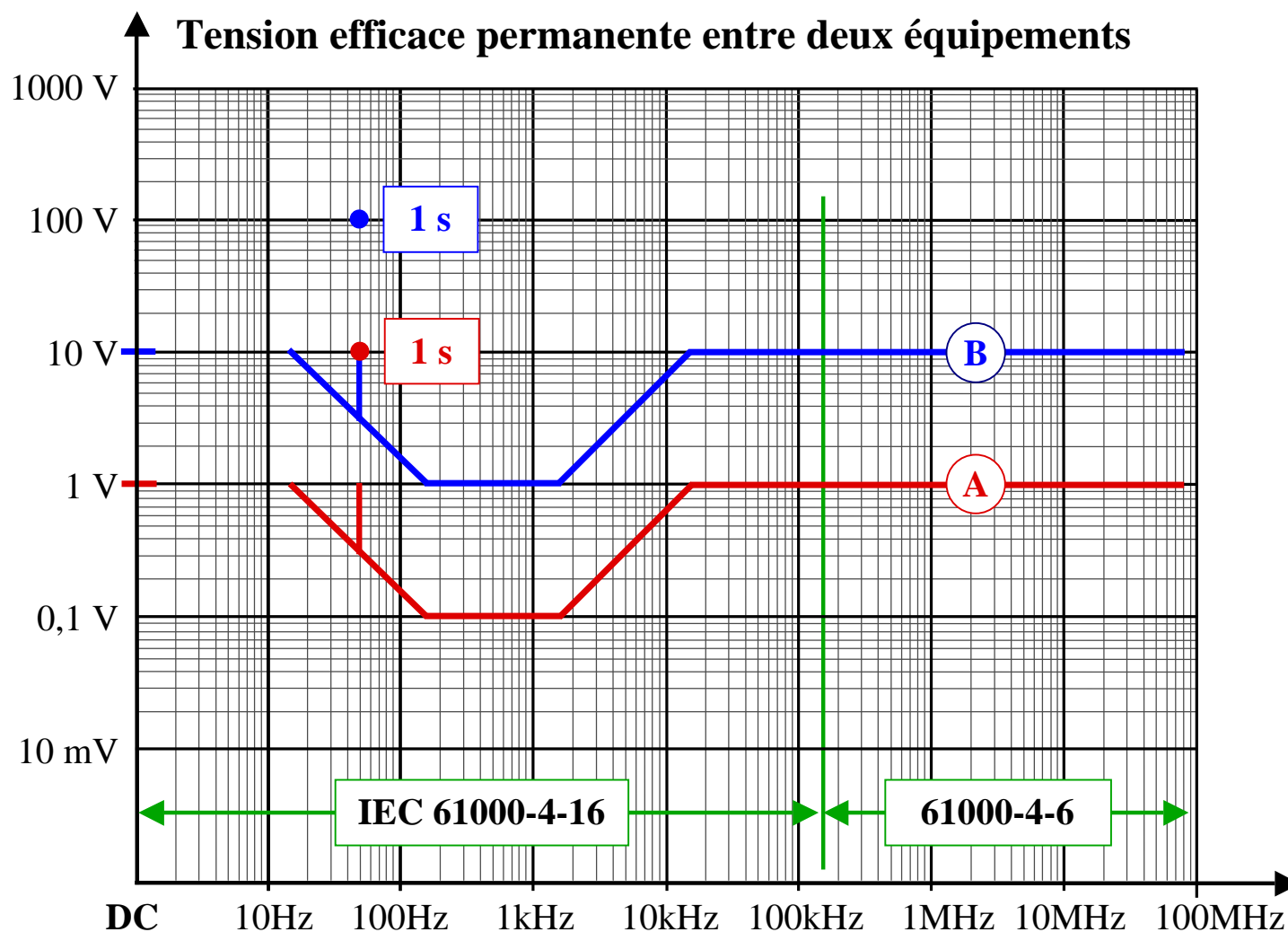
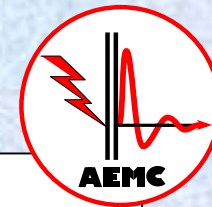
Elle devrait être réduite en:

- 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.

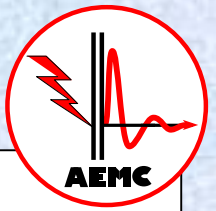
# Bruit tolérable entre équipements



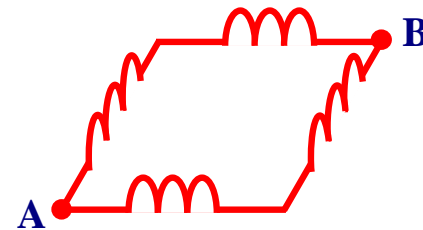
An cas de trouble au-dessus de (B) améliorer l'équipotentialité de l'installation.

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

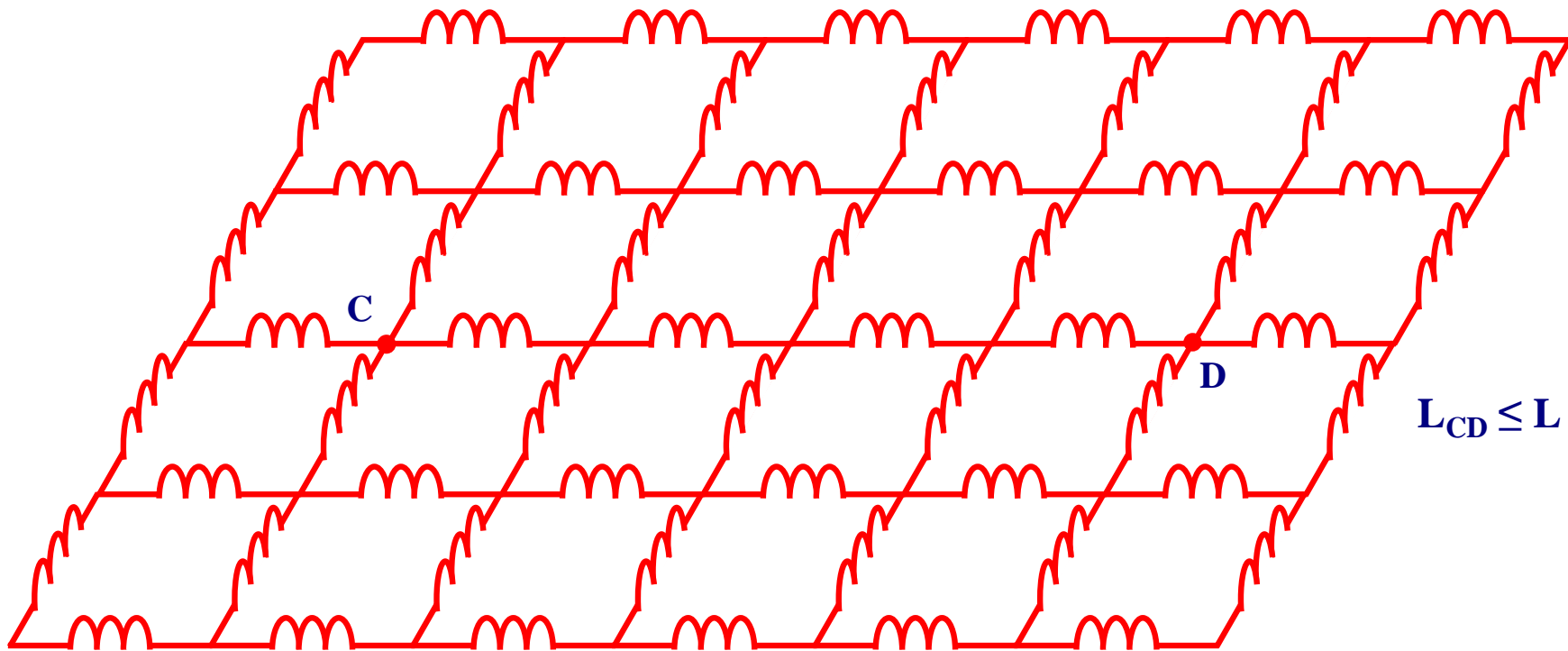
# Impédance d'un réseau maillé



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



$$L_{AB} \approx L$$



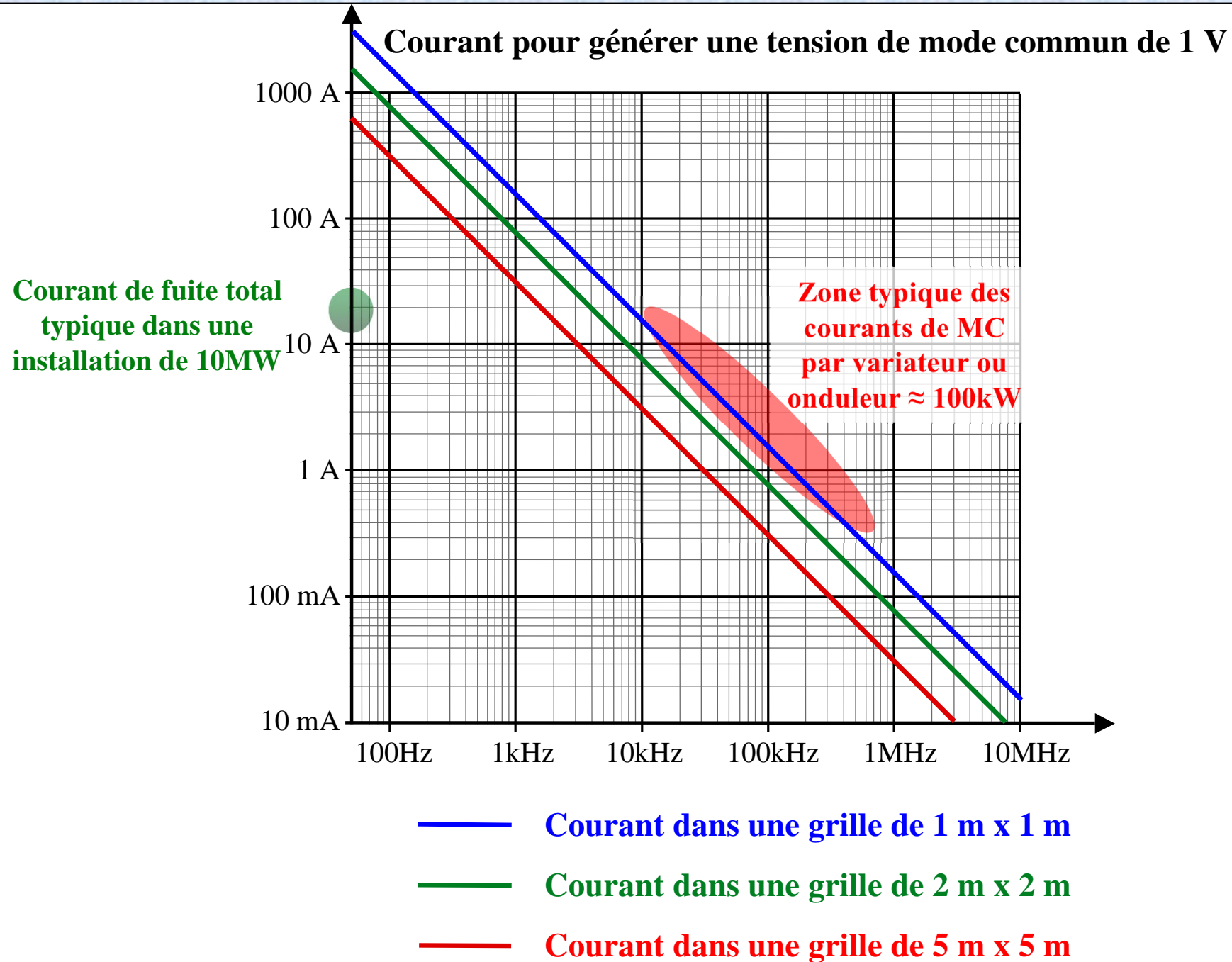
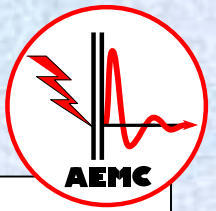
$$L_{CD} \leq L$$

**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.**

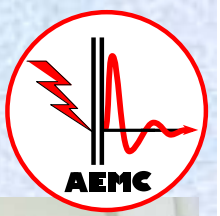
**Pour une grille en 3D, l'impédance entre deux points diminue avec la taille du réseau !...**

# Courant tolérable dans un réseau maillé





# Conserver la CEM sous contrôle

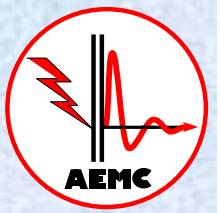


Tous ces chemins de câbles sont interconnectés à chaque occasion, y compris aux armoires à chaque bout, créant ainsi un réseau de masse unique, économique, en 3D, en utilisant tous les conducteurs existants.

(Un très 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.