Cours de CEM

- Les acteurs de la CEM

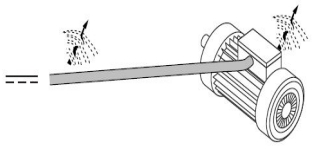
Les acteurs de la CEM

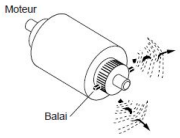
Sources de perturbation

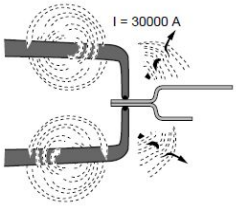
- **Deux types de sources**
  - **intentionnelles (humaines)**
  - **non intentionnelles (naturelles)**

Les acteurs de la CEM — Sources de perturbation

- **Sources intentionnelles (humaines)**
  - Communications,
  - Activités Industrielles,
  - Informatique,
  - etc…





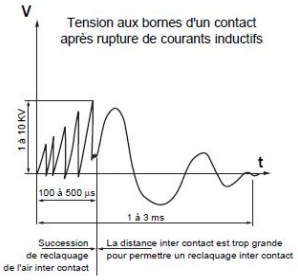


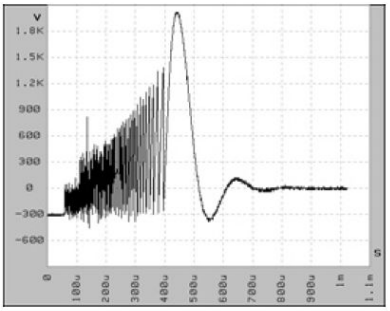
CPL
Ecran Plasma

tensions harmoniques 200 ... 20 KHz

Les acteurs de la CEM — Sources de perturbation

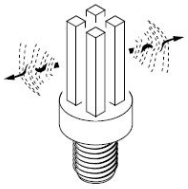
- **Sources intentionnelles (humaines)**
  - Exemple
    - Fermeture d'un contact électrique

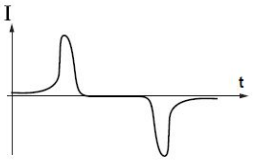




Sources intentionnelles (humaines)

- **Exemple**
  - Lampe fluorescente



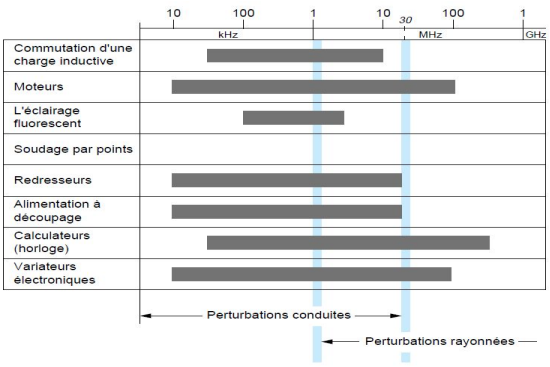


Ce courant est donc particulièrement chargé en harmoniques, notamment celui de rang 3 (3 x 50 Hz ou 3 x 60 Hz ...)

Des perturbations seront générées sur une large plage de fréquence (0 à 100 KHz voire 5 MHz).

Sources intentionnelles (humaines)

- **Répartition spectrale des perturbations**

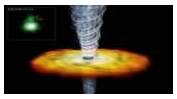


Les acteurs de la CEM — Sources de perturbation

- **Sources non intentionnelles (naturelles)**
  - Les éruptions du soleil

  - ESD (Décharge Electrostatique)

  - Quasar



  - Foudre

  - Champ magnétostatique terrestre

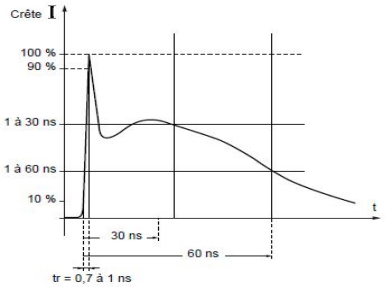
Les acteurs de la CEM — Sources de perturbation

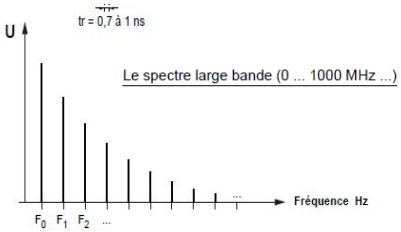
- **Sources non intentionnelles (naturelles)**
  - ESD

Caractéristiques des décharges électrostatiques normalisées (type IEC 1000-4-2)

Les éléments significatifs de ces perturbations sont :

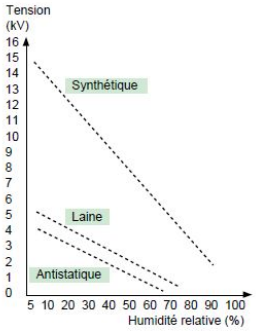
- la très faible durée du temps de montée de l'impulsion ≃ 1 ns
- la durée de l'impulsion ≃ 60 ns
- le caractère isolé du phénomène : 1 décharge
- la tension très élevée à l'origine de la décharge (2 ... 15 kv ...)





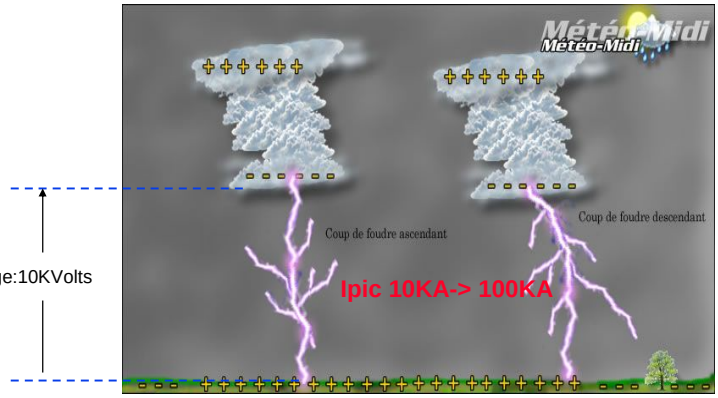
Les acteurs de la CEM — Sources de perturbation

- **Sources non intentionnelles (naturelles)**
  - **ESD**
    - Charge électrique accumulée en fonction du matériaux par effet triboélectrique.



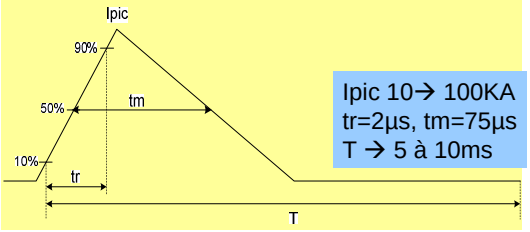
Les acteurs de la CEM — Sources de perturbation

- **Sources non intentionnelles (naturelles)**
  - **Foudre**



Sources non intentionnelles (naturelles)

- **Foudre**
  - **Caractéristiques de l'impulsion foudre**



- **Effets électriques instantanés de la foudre:**
  - Elévation des potentiels le long des structures verticales.
  - Elévation des potentiels autour du point d'impact (terre).
  - Rayonnement d'un fort champ électromagnétique.

Sources non intentionnelles (naturelles)

- **Foudre**
  - **Elévation des potentiels autour du point d'impact:**

$$U(V) = 0.16 \cdot I \cdot \rho \cdot \left(\frac{1}{D2} - \frac{1}{D1} \right)$$

I (A) : Courant foudre au point d'impact.

D2,D1 (m) : Distances par rapport au point d'impact foudre.

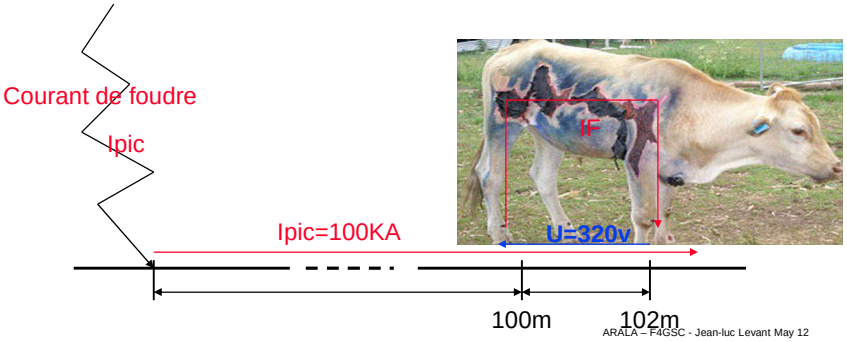
$\rho(\Omega \cdot m)$: Résistivité moyenne du sol.

Les acteurs de la CEM — Sources de perturbation

- **Sources non intentionnelles (naturelles)**
  - **Foudre**
    - Elévation des potentiels autour du point d'impact:

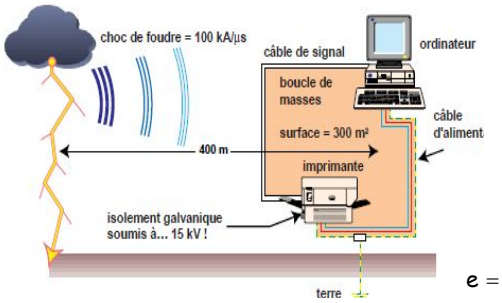
$$\rho(\Omega\cdot m) = 1000 \qquad \text{Ipic} = 100\text{KA}$$

$$U = 0.16\cdot 100kA\cdot 1000\cdot\left(\frac{1}{100}-\frac{1}{102}\right) = 320v$$



Les acteurs de la CEM — Sources de perturbation

- **Sources non intentionnelles (naturelles)**
  - **Foudre**
    - Rayonnement d'un champ électromagnétique



$$e = -\frac{d\phi}{dt} = \frac{dB}{dt}\cdot S = -\mu 0\cdot\frac{dH}{dt}\cdot S$$

$$H = \frac{i}{2\pi D}$$

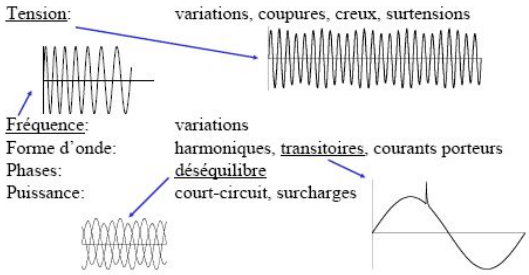
$$e = -4\pi\cdot 10^{-7}\cdot\frac{10^{5}}{10^{-6}}\cdot\frac{1}{2\pi\cdot 400} = -15\text{KVolts}$$

Les sources de perturbation

- Autres classements
  - Sources permanentes (fréquence fixe)
    - *Emetteurs radio, Radars*
    - *Bruit des moteurs électriques*
    - *Ordinateurs,écrans,…*
    - *Redresseurs, alimentation à découpage,..*
  - Sources Impulsionnelles (durée courte)
    - *La foudre*
    - *IEMN (Impulsion electromagnétqique Nucléaire)*
    - *Défauts dans les lignes d'énergie*
    - *Décharge électrostatique*
    - *…*

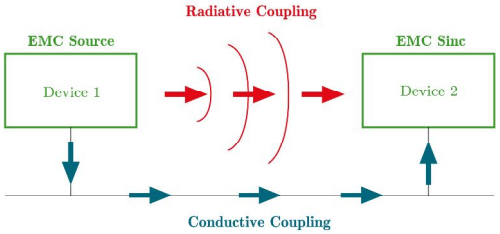
Les sources de perturbation

- Autres classements
  - Sources impulsionnelles/transitoires
    - Perturbations du réseau basse tension



Modes de Propagation

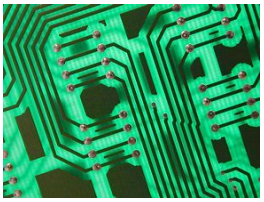
- Deux types : Conduction ou par rayonnement[1].
- Ces deux modes spécifient comment les perturbations sont transportées depuis la source de perturbation vers la victime.



[1] En réalité les deux se combinent

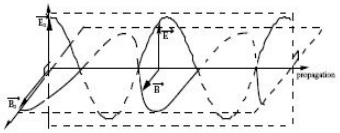
Modes de Propagation

- Conduction
  - Elles sont propagées par des supports physiques tels que *les fils, les câbles, les pistes de circuit imprimé, les boîtiers des circuits intégrés,…*



Les acteurs de la CEM — Sources de perturbation

- **Les sources de perturbation**
  - **Rayonnement**
    - Elles sont propagées par des supports diélectriques *tel que l'air, le plastique, l'epoxy, la céramique…*
    - Elles se propagent sous forme d'ondes électriques, magnétiques ou électro-magnétiques (onde plane, espace libre).

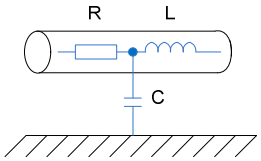


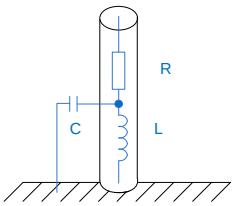
Les acteurs de la CEM — Dispositifs de couplage

- **Différentes types:**
  - **Par impédance commune**
  - **Couplage champ H à boucle**
  - **Couplage champ E à fil**
  - **Couplage par diaphonie magnétique**
  - **Couplage par diaphonie capacitive**
  - **Mode de couplage**

Les acteurs de la CEM — Dispositifs de couplage

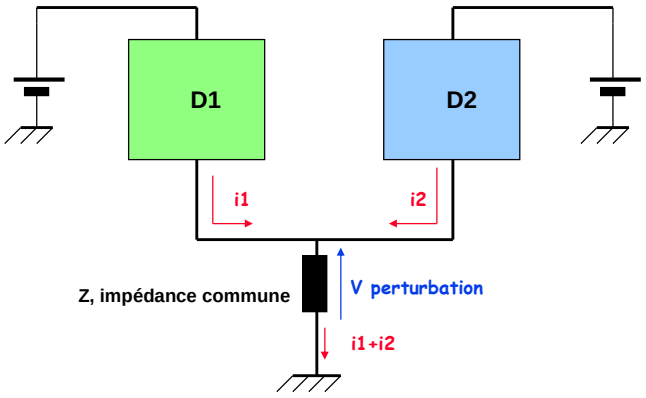
- **Couplage par impédance commune**
  - Tout conducteur présente une impédance:
    - Une résistance car la section d'un conducteur n'est pas infinie. $R(\Omega) = \rho \cdot \frac{L}{S}$
    - Une inductance car tout courant parcourant un conducteur génère un champ magnétique B et un flux d'induction magnétique. $L(H) = \frac{\phi}{i}$
    - Une capacité car deux conducteurs distincts sont toujours séparés par un isolant. $C(F) = \varepsilon 0 \cdot \varepsilon r \cdot \frac{S}{h}$





Les acteurs de la CEM — Dispositifs de couplage

- **Couplage par impédance commune**
  - Une connections peut être commune à plusieurs dispositifs.
  - Cette connexion présente une impédance (Z) qui est commune aux dispositifs.
  - Z crée une pertrubation qui peut affectée l'un, l'autre ou les deux dispositifs.



Couplage champ H à boucle

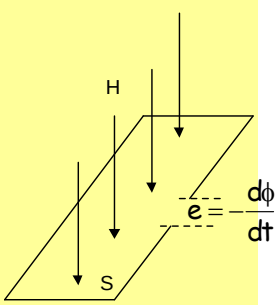
- H (A/m) : excitation magnétique
- B (Telsa) : champ magnétique
- Φ (Weber) : flux magnétique

$$H = \frac{i}{2\pi r}$$

$$B = \mu 0 \cdot \mu r \cdot H$$

$$\phi = B \cdot S \cdot \cos(\theta)$$

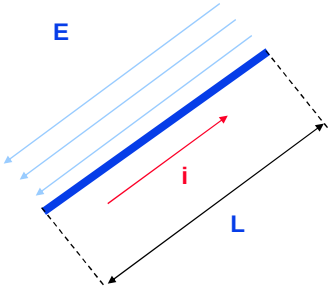
Avec :
- r : distance en m
- μ0 : perméabilité magnétique
- μr : perméabilité relative
- S : surface du contour fermé



$$e = -\frac{d\phi}{dt} = -\mu 0 \cdot S \cdot \frac{dH}{dt}$$

Couplage champ E à fil

- Un champ électrique E illuminant un conducteur (câble, fil, piste,…) engendre un courant i dans ce conducteur.

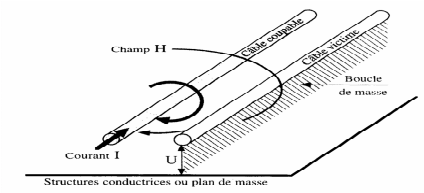


$$L \le \frac{\lambda}{4} \qquad i(mA) \le \frac{L^2 \cdot FMHz}{120} \cdot E$$

$$L \ge \frac{\lambda}{2} \qquad i(mA) \le \frac{1.25}{FMHz} \cdot E$$

Couplage par diaphonie magnétique

- Deux conducteurs proches l'un de l'autre se comportent comme un transformateur.
- Le courant i parcourant le premier conducteur induit une tension U dans le deuxième par couplage magnétique ou par induction magnétique M.

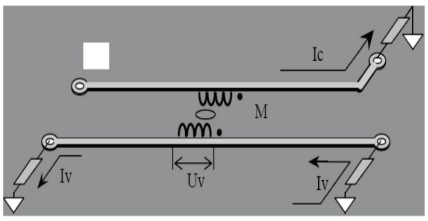


$$U = ZL \cdot i = 2\pi \cdot f \cdot M \cdot i$$

$$U = M \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

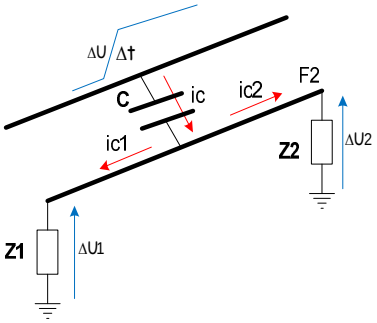
Couplage par diaphonie magnétique

- Exemple
  - Deux pistes de circuits imprimés



Couplage par diaphonie capacitive

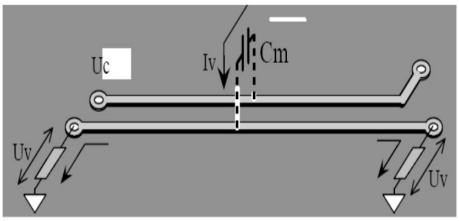
- Deux conducteurs proches l'un de l'autre et séparés par un isolant (air, plastique,…) se comportent comme une capacité parasite C.
- Une variation de tension appliquée à l'un des conducteurs crée un courant de déplacement dans C et une tension parasite induite dans l'autre conducteur.



$$ic = C \cdot \frac{dv}{dt}$$

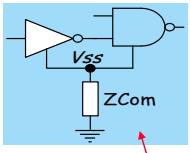
Couplage par diaphonie capacitive

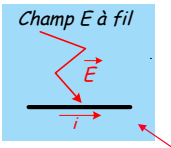
- Exemple
  - Deux pistes de circuits imprimés

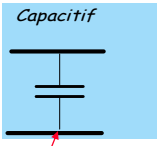


Les acteurs de la CEM — Dispositifs de couplage

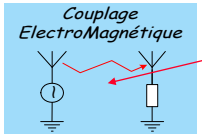
- **Syhnthèse des différents mécanismes de couplage**

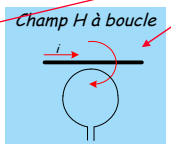


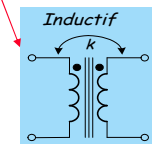




Type de couplage	Commentaires
Impédance commune	Element physique présentant une impédance.
Electrique	Capacitive ou rayonnement E
Magnétique	Inductif ou rayonnement H
ElectroMagnétique	Rayonnement (onde plane)





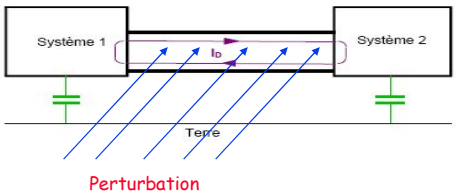


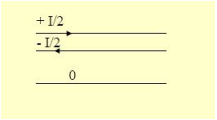
Les acteurs de la CEM — Sources de perturbation

- **Mode de couplage**
  - Décrit comment les perturbations se propagent jusqu'à la victime.
  - Trois modes
    - Mode différentiel
    - Mode commun
    - Conversion mode commun en mode différentiel.
  - Il s'agit alors d'analyser le chemin électrique emprunté par les perturbations pour se propager et se reboucler (courant aller et et retour).

Les acteurs de la CEM — Dispositifs de couplage

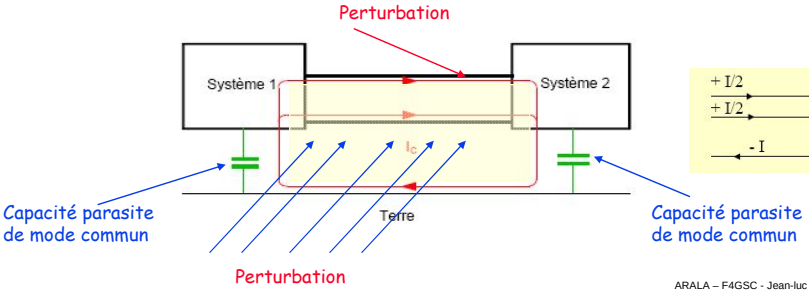
- **Mode de couplage**
  - **Différentiel**
    - Cas typique du mode de transport des signaux électriques (horloges, données,adresses,…).
    - Les perturbations sont transportées par le même support que le signal utile (câbles, connexions cartes,…). Elles retournent par la masse de celui-ci.
    - La pertrubation est couplée soit en mode conduit ou en mode rayonnée.

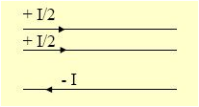




Les acteurs de la CEM — Sources de perturbation

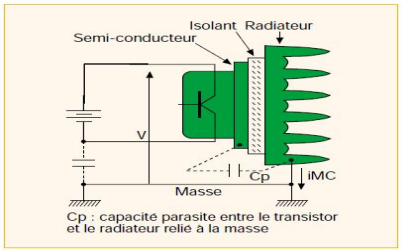
- **Mode de couplage**
  - **Commun**
    - Les perturbations sont couplées sur le signal utile et sur sa masse.
    - Une partei des courants de retour se rebouclent par la (Terre) au travers de capacités parasites (Câbles,Chassis, cartes,..).
    - La boucle rayonne ou capte des perturbations.
    - La surface de la boucle de mode commun est généralement plus grande que le boucel de mode différentiel.

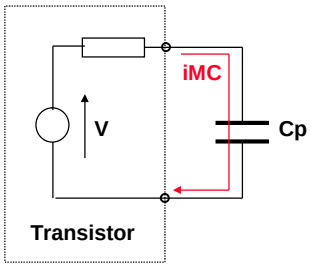




Mode de couplage

- **Mode Commun**
  - Exemple
    - courant de mode commun dans un étage de puissance





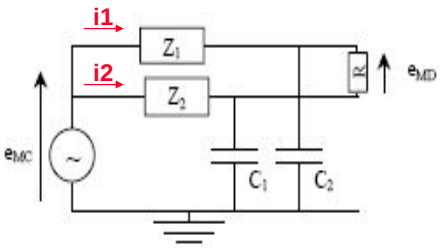
Cp

Rondelle isolante pour boîtier TO3	Epaisseur (mm)	Capacité parasite (pF)
Mica	0,1	160
Plastique	0,2	95
Alumine	2	22

Mode de couplage

- **Conversion mode commun en mode différentiel**
  - Mode particulier du mode commun dans lequel la dissymétrie des impédances des entrées fait apparaître une perturbation sous forme d'une tension différentielle.

Z1 différent de Z2



$$e_{MD} = e_{MC} \cdot \left(\frac{ZC2}{ZC2+Z1} - \frac{ZC1}{ZC1+Z2} \right)$$

Les acteurs de la CEM — Victimes

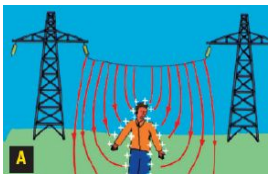
- **Classification**
  - **Biologiques et matérielles**

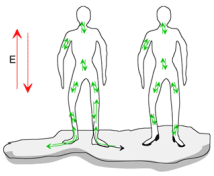
Victimes Biologiques:

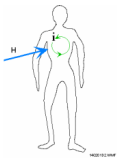
- *Hommes,*
- *Animaux,*
- *Plantes,*
- *etc…*

Victimes Matérielles:

- *Récepteurs, amplificateurs,*
- *Capteurs, téléphones,*
- *etc…*

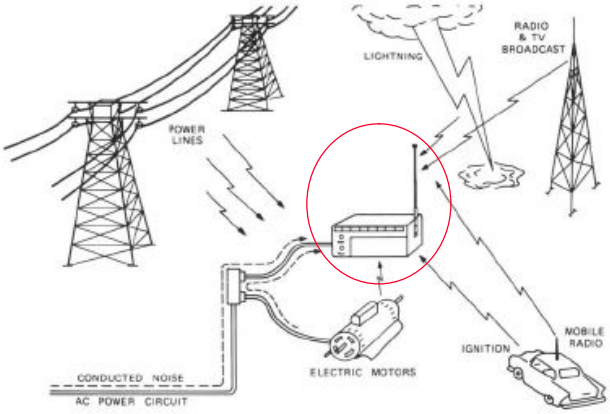


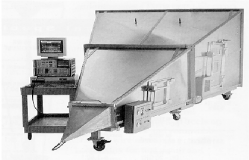
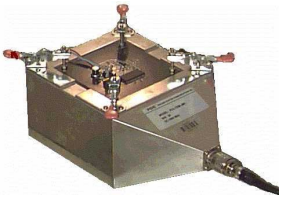




Les acteurs de la CEM — Synthèse

- **Exemple d'environnement perturbant pour un récepteur radio**



Quelques équipements de mesure CEM

- **Equipements**