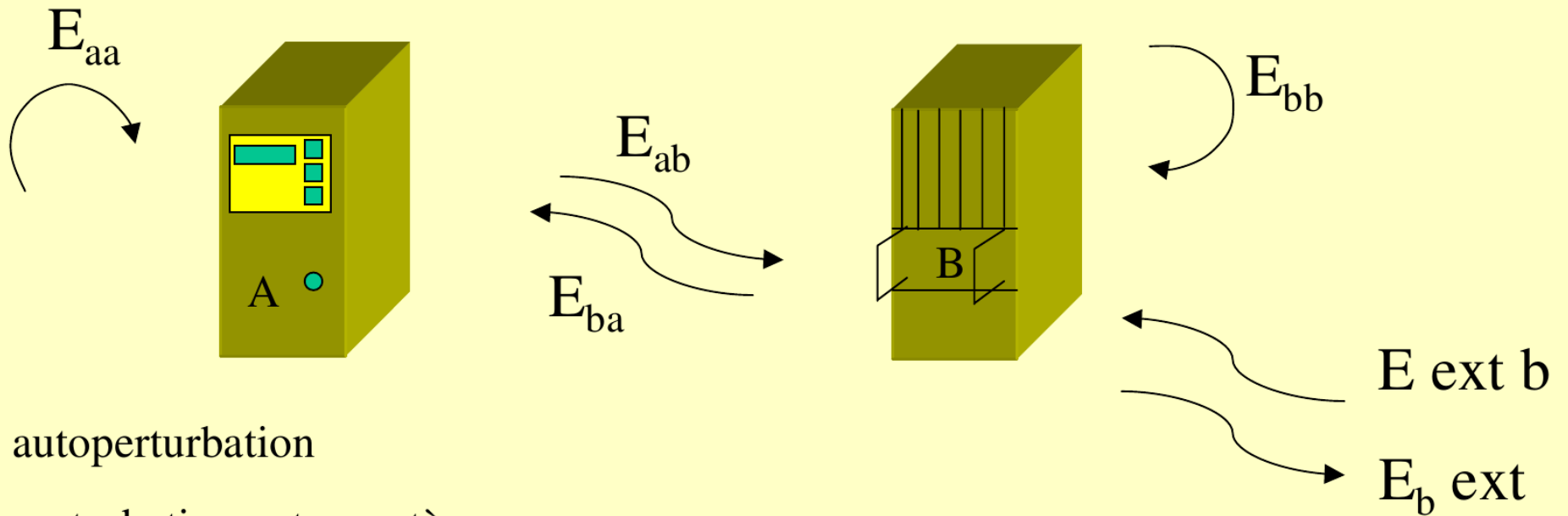


CEM :

Compatibilité  
ElectroMagnétique



$E_{aa}, E_{bb}$  : autoperturbation

$E_{ab}, E_{ba}$  : perturbation entre systèmes

$E_{ext\ b} ; E_{b\ ext}$  : influence de l'environnement sur le système (*et réciproquement*)

# Qu'est ce que la CEM ?

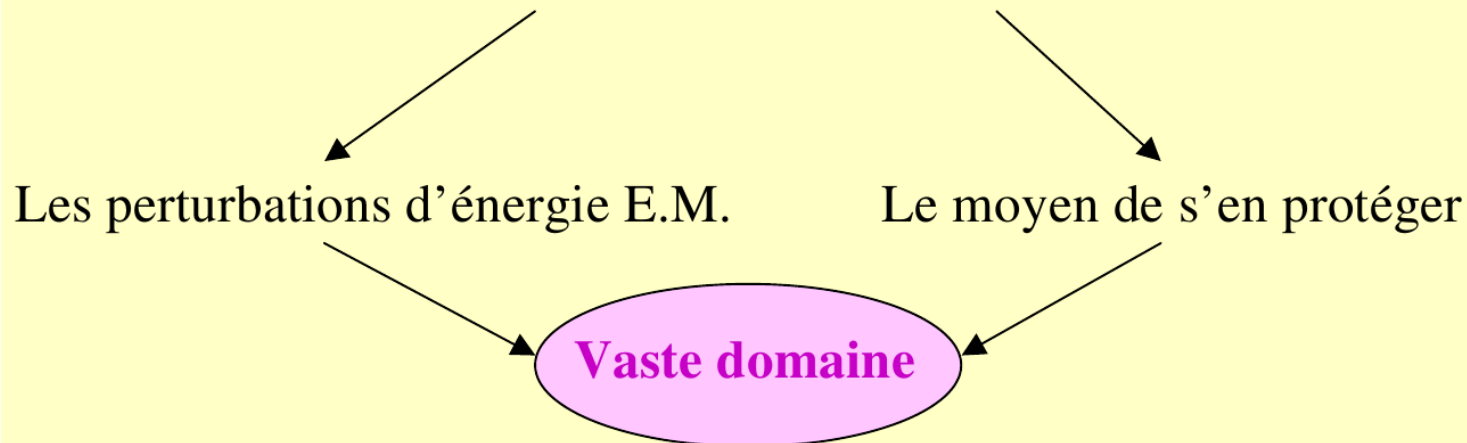
## ❑ Au départ

Possibilité d'un appareil de fonctionner correctement en présence d'un autre appareil ou d'un parasite externe.

Cohabitation lignes fort niveau (EDF, ...) / bas niveau (liaisons informatiques)

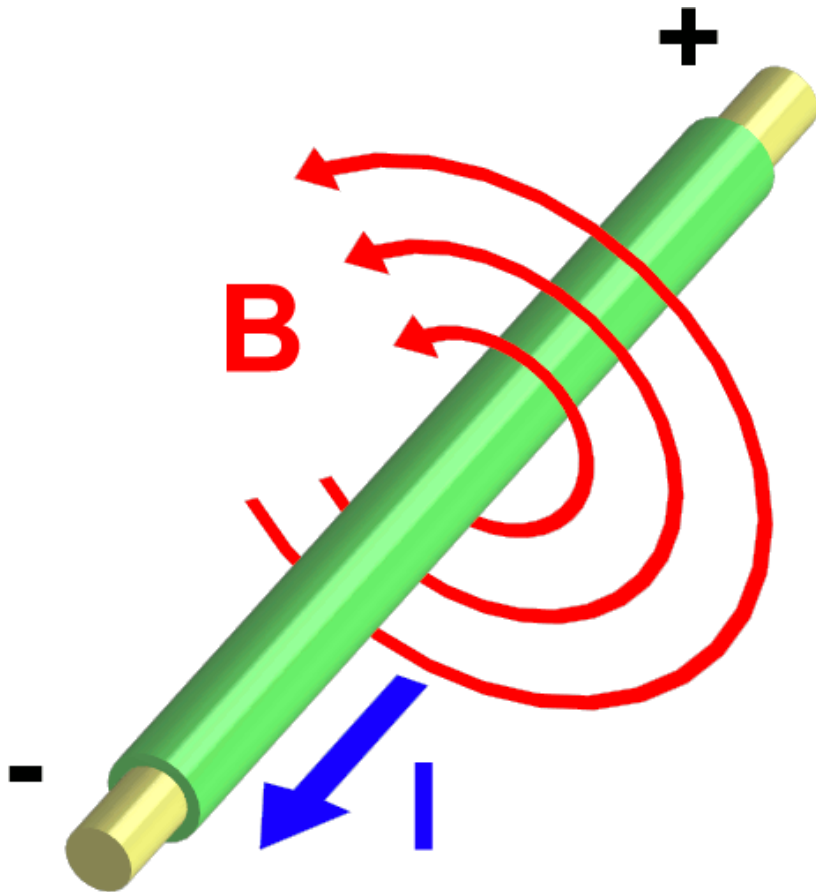
## ❑ Par extension

L'ensemble des techniques qui traitent de ces propriétés.

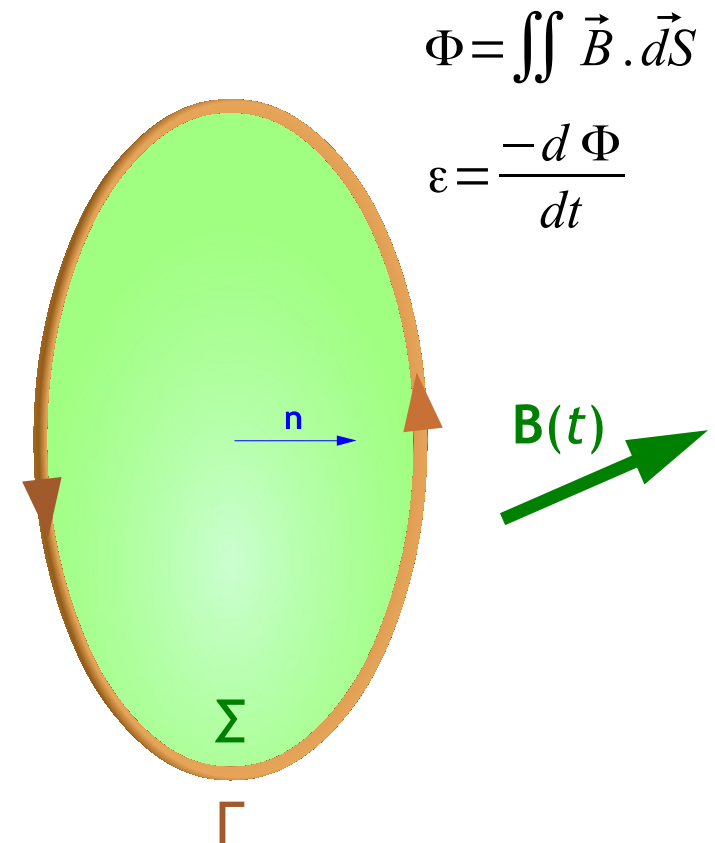


# Champ magnétique

Tout **courant électrique** génère un champ magnétique



Réciproquement, un champ magnétique variable est susceptible de générer un courant électrique

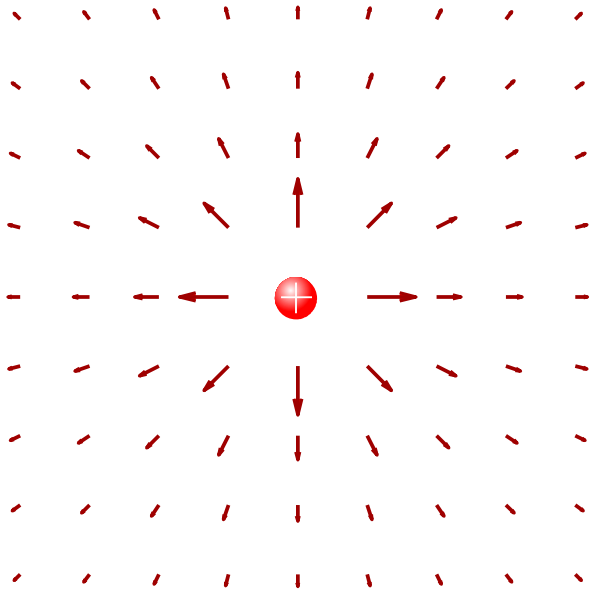
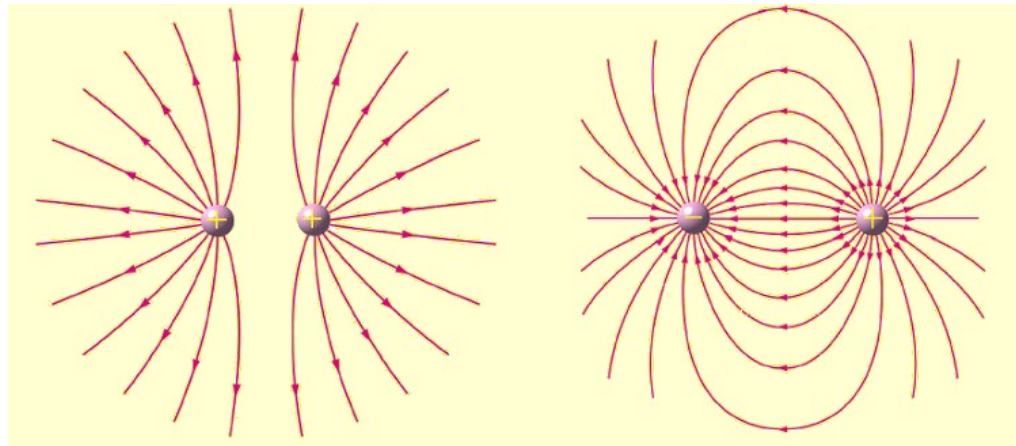


$$\Phi = \iint \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$\varepsilon = \frac{-d\Phi}{dt}$$

# Champ électrique

$$\vec{E} = -\text{grad } V$$



Toute particule chargée électriquement proclame sa présence en générant autour d'elle un champ électrique pouvant appliquer des forces électriques à distance sur les autres particules chargées.

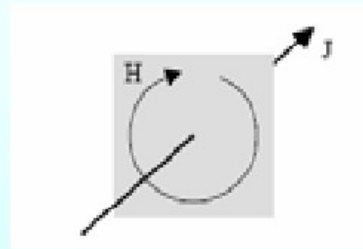
Champ créé par un fil infiniment long et uniformément chargé

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon d}$$

# Relations entre champs $E$ et $B$ des équations de Maxwell

## Loi d'Ampère

$$\oint_{\text{contour fermé}} \vec{H} d\vec{M} = \sum \text{courants enlacés}$$

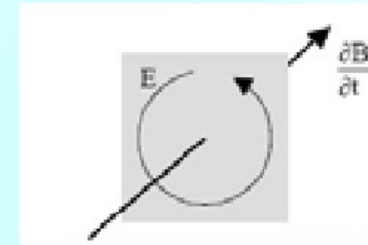


$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J}_c + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

courant de conduction      courant de déplacement

## Loi de Faraday, Lenz

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \quad \text{ou : } \oint_{\text{contour fermé } C} \vec{E} d\vec{M} = -\frac{\partial \left( \iint_{\text{surface s'appuyant sur le contour } C} \vec{B} d\vec{S} \right)}{\partial t}$$



$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

## Théorème de Gauss (flux du champ E)

$$\iint_{\text{surface fermé}} \vec{E} d\vec{S} = \sum_{\text{volume}} \text{charges}$$

$$\text{div } \vec{D} = \rho$$

$\rho$  : densité de charge en  $\text{Cm}^{-3}$

## Flux du champ B

$$\iint_{\text{surface fermé}} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

$$\text{div } \vec{B} = 0$$

## Équations constitutives caractérisant les matériaux :

$$\vec{J}_c = \sigma \vec{E}, \quad \vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad \text{et} \quad \vec{B} = \mu \vec{H}$$

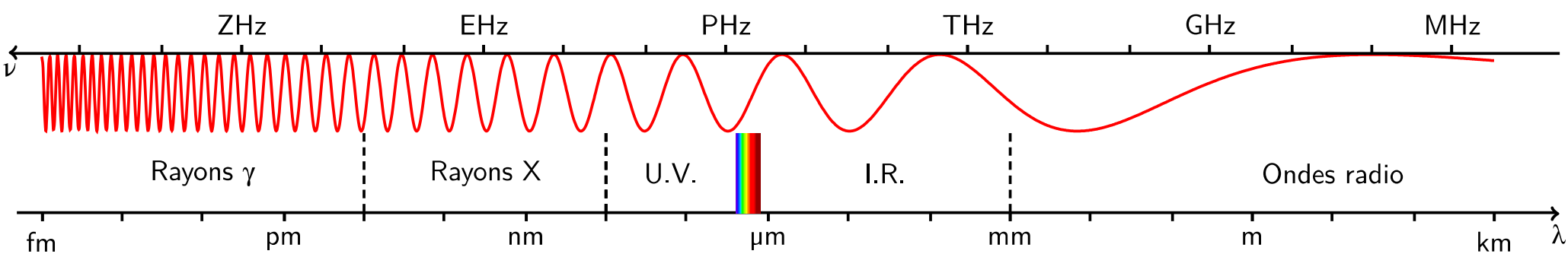
conductivité

permittivité

perméabilité

Longueur d'onde

$\lambda = \frac{c}{f}$



Spectre électromagnétique

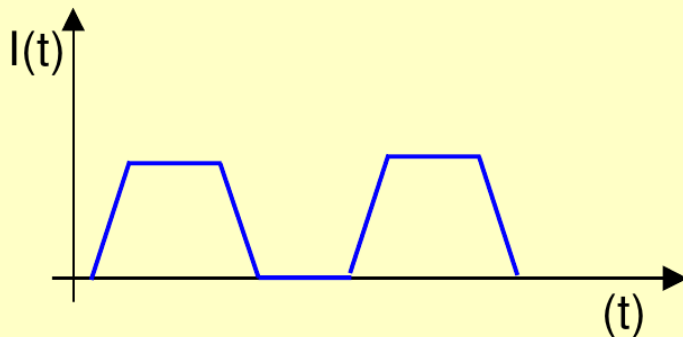
Longueur d'onde (dans le vide)	Domaine	Fréquence	Commentaire
supérieure 10 m	radio	inférieure à 30 MHz	
de 30 cm à 1 mm	micro-onde (Wi-Fi, téléphones portables, radar, etc.)	de 1 GHz à 300 GHz	incluse dans les ondes radio
de 500 μm à 780 nm	infrarouge norme NF/en 1836	de 0,5 THz à 350 THz	
de 780 nm à 380 nm	lumière visible	de 350 THz à 750 THz	rouge (620-780 nm) orange (592-620 nm) jaune (578-592 nm) vert (500-578 nm) bleu (446-500 nm) violet (380-446 nm)
de 380 nm à 10 nm	ultraviolet	de 750 THz à 30 PHz	
de 10 nm à 10 pm	rayon X	de 30 PHz à 30 EHz	
inférieure à 10 pm	rayon γ	supérieure à 30 EHz	

# Les problèmes C.E.M.

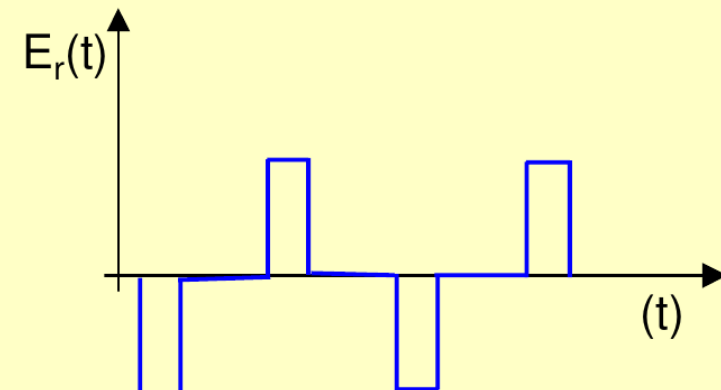


Accroissement des problèmes C.E.M. liés à :

- ⇒ L'augmentation du nombre de systèmes électroniques embarqués (*perturbés*) et non embarqués (*perturbateurs*).
- ⇒ L'augmentation des fréquences d'horloge.
- ⇒ Intégration accrue des composants.



Augmentation susceptibilité.



# Quelques définitions C.E.M.

en réception ...

## □ Immunité E.M.

Aptitude d'un équipement à résister à une perturbation E.M.

**Niveau d'immunité :** valeur maximal d'une perturbation tolérable

$N_{in}$

## □ Perturbation E.M.

Signal indésirable qui se superpose à un signal utile.

**Dégradation des performances.**

$E_{EM}$

## □ Marge d'immunité

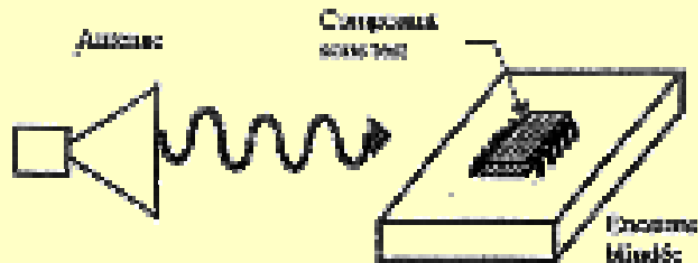
$$M = 20 \log_{10} \left| \frac{N_{in}}{E_{EM}} \right|$$

Il y a Compatibilité E.M., si  $M > 0$  dB

En générale fluctuations  $\Rightarrow$  il faut laisser une marge de 10  $\rightarrow$  20 dB

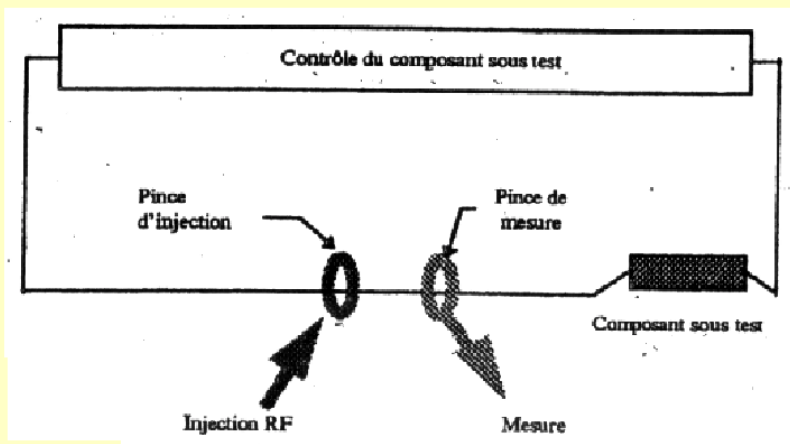
# Mesure de la susceptibilité d'un composant

## ☐ Agression directe du composant :

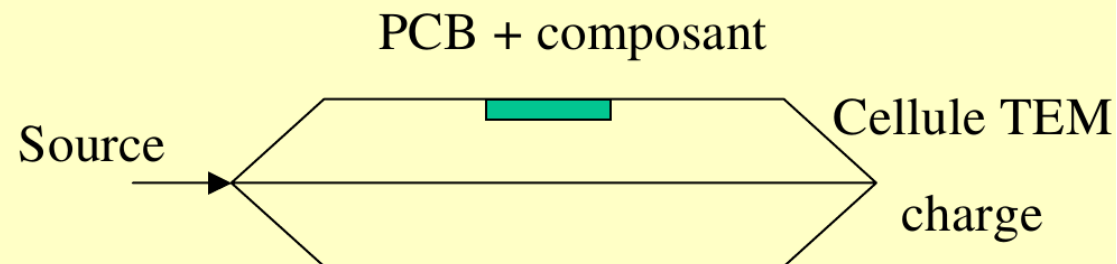


Mesures des dysfonctionnements

## ☐ Injection par pince :



## ☐ Agression dans une cellule T.E.M. :



# Sensibilité d'un élément

Tests effectués sur une grande quantité.

## Composants

## Seuils énergétiques de destruction

Diodes hyper	$10^{-4} - 10^{-3}$ mJ
Circuits intégrés CMOS	$10^{-3} - 10^{-2}$ mJ
Transistor faible puissance	$10^{-2} - 10^{-1}$ mJ
Diode zéner	$10^{-3} - 10^{-2}$ mJ
Relais	10 – 100 mJ
Résistance en carbone (0,25 W)	10 mJ

# Normalisation en C.E.M.

## □ Normalisation :

± ensemble de processus qui permettent de donner à des documents de référence le statut de norme et de les publier.

## □ Niveau mondial :

**ISO** : International **O**rganisation for **S**tandardisation



**Partie électrique**

**CEI** : Commission **E**lectrotechnique **I**nternational

## □ Niveau européen :

**CEN** : Comité **E**uropéen de **N**ormalisation



**Partie électrique**

**CENELEC** : Comité **E**uropéen de **N**ormalisation **E**lectrique

## □ Niveau français :

**AFNOR** : Association **F**rançaise de **N**ormalisation



**Partie électrique**

**CEF** : Comité **E**lectrotechnique **F**rançais

# Normalisation en C.E.M.

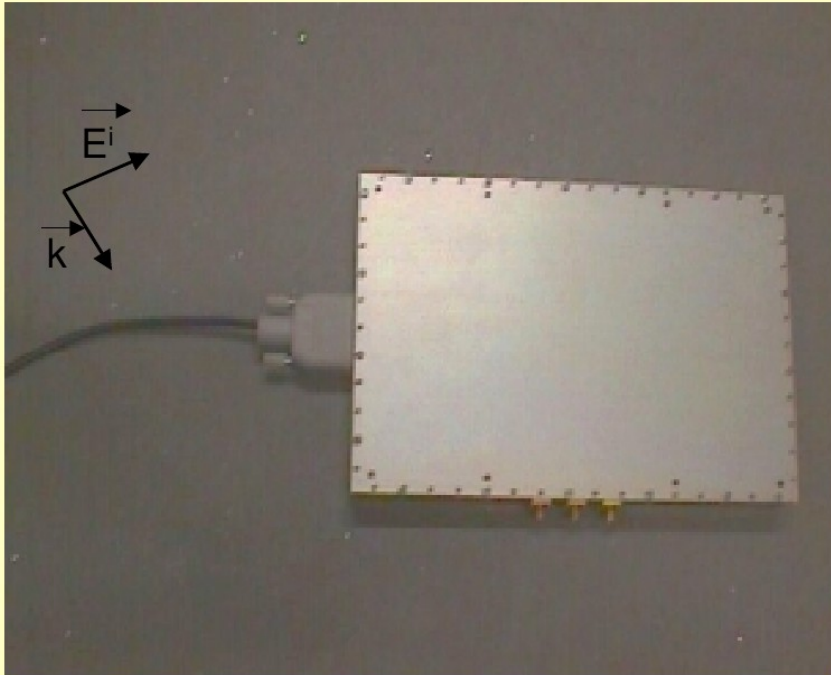
## □ Objectifs d'une norme :

- ↳ répondre aux besoins du marché.
- ↳ éliminer les obstacles à la libre circulation des produits.

## □ Quatre types de document :

- Les publications fondamentales (normes ou rapports).  
donnent des règles pour effectuer les mesures normatives,  
proposent une série de critères d'acceptabilité.
- Les normes génériques.  
concernent un environnement particulier.  
deux environnements :
  - ↳ domestique, commercial, industrie légère.
  - ↳ environnement industriel.pour les méthodes d'essais
  - ↳ références aux normes fondamentales.
- Les normes de familles de produit.
- Les normes de produit.

# Susceptibilité d'une liaison entre équipements



## □ Couplage conduit :

- Propagation des parasites et pénétration dans le boîtier.

## □ Couplage rayonné :

- Couplage champ / câble.
- Pénétration par les ouvertures.
- Couplage au niveau de la connectique.