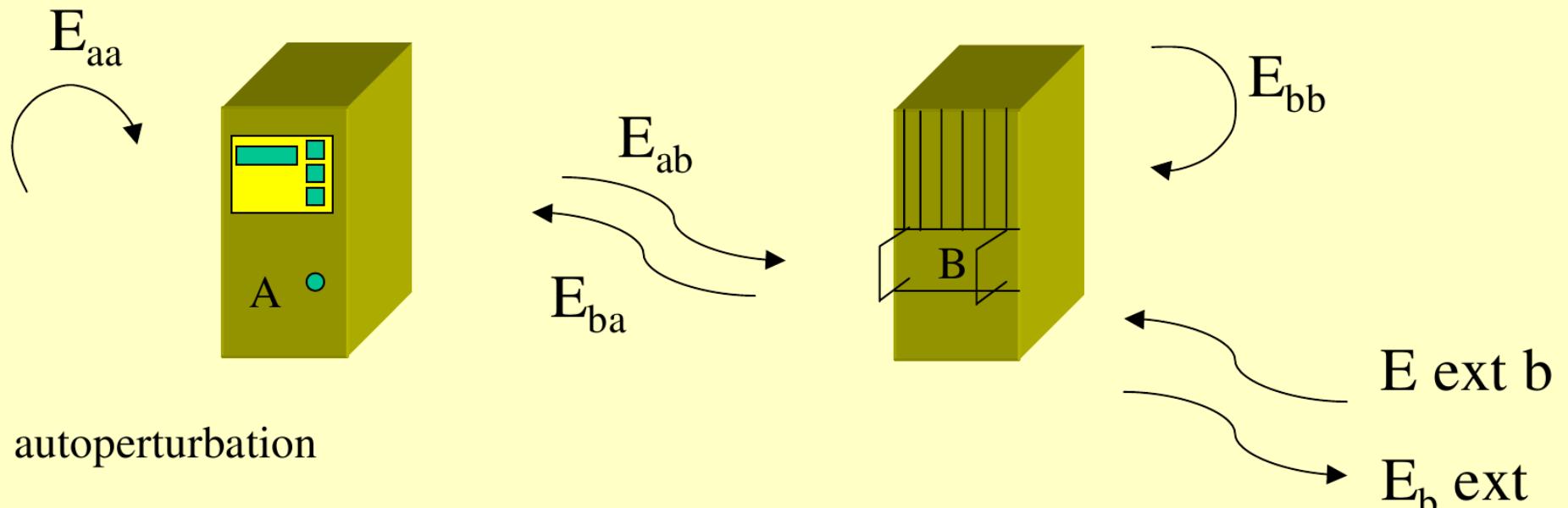


CEM :

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 ?

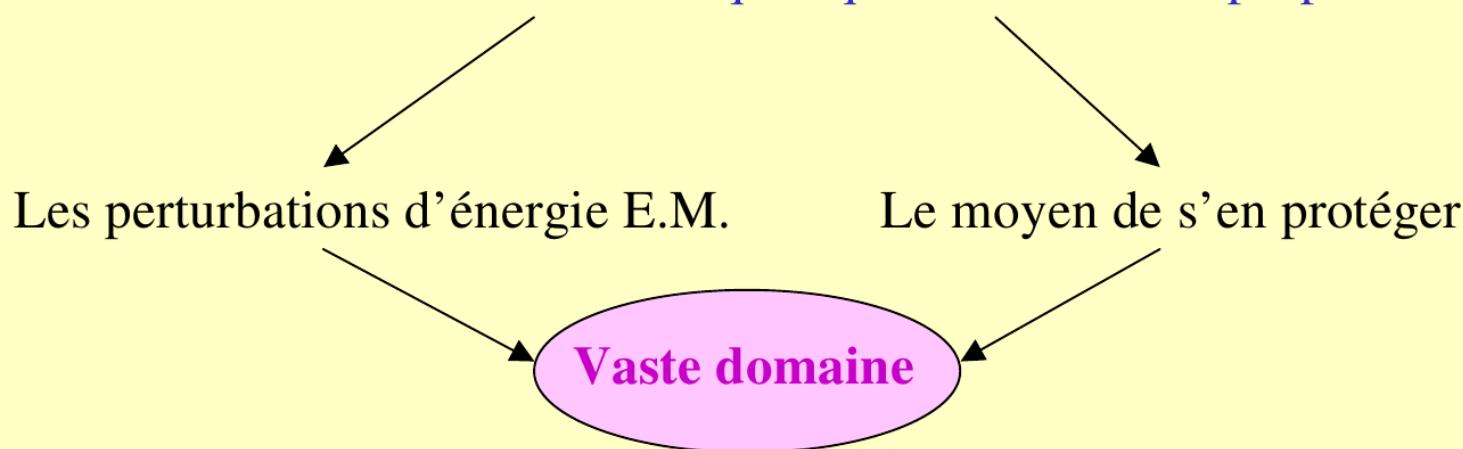
□ Au départ

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)

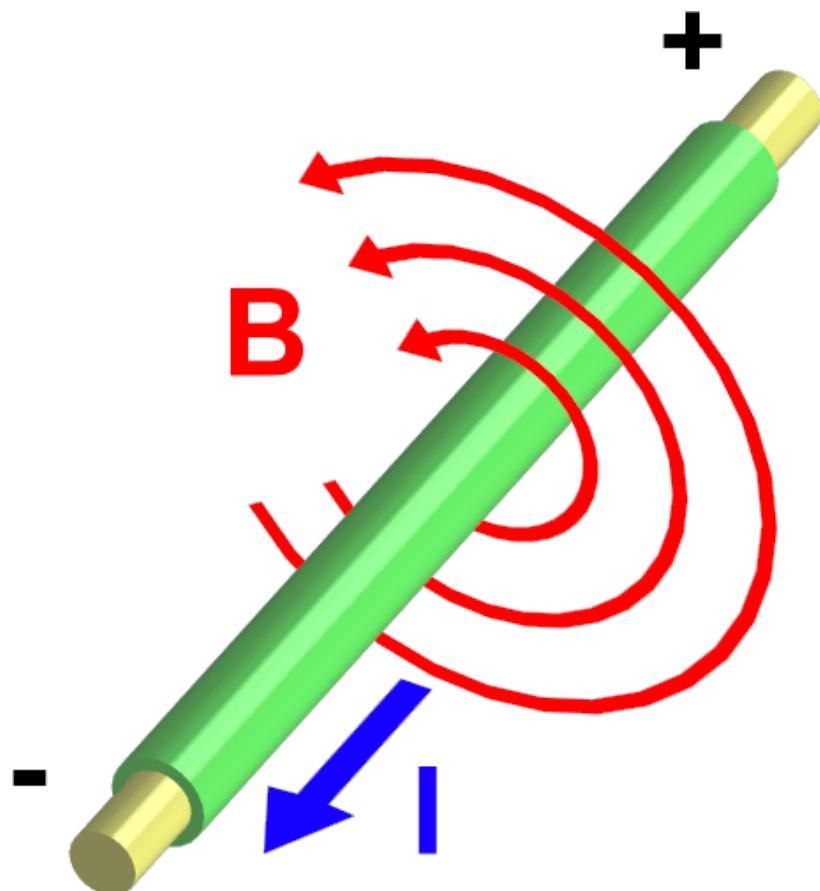
□ Par extension

L'ensemble des techniques qui traitent de ces propriétés.

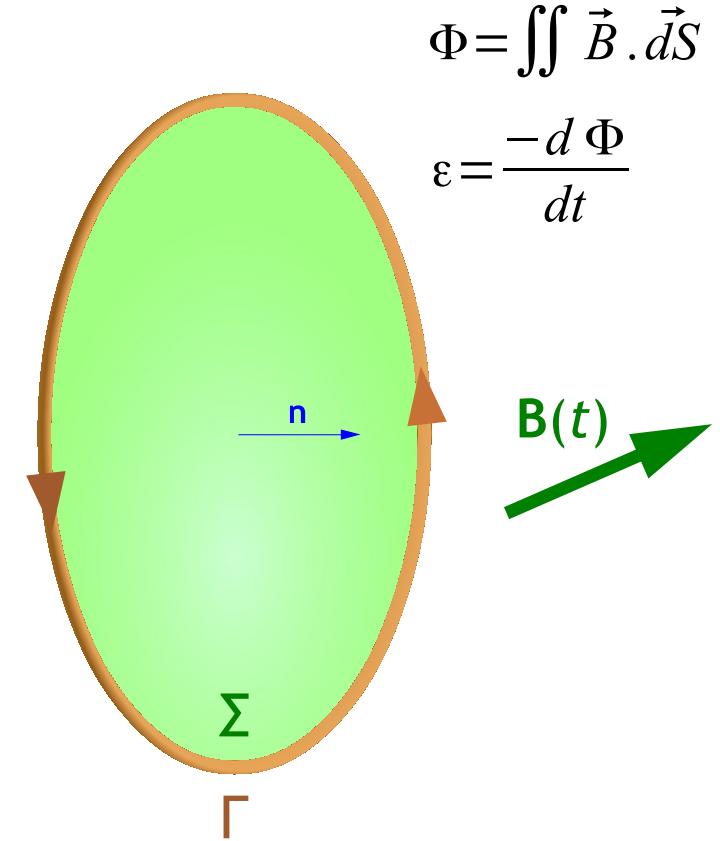


Champ magnétique

Tout courant électrique génère un champ magnétique

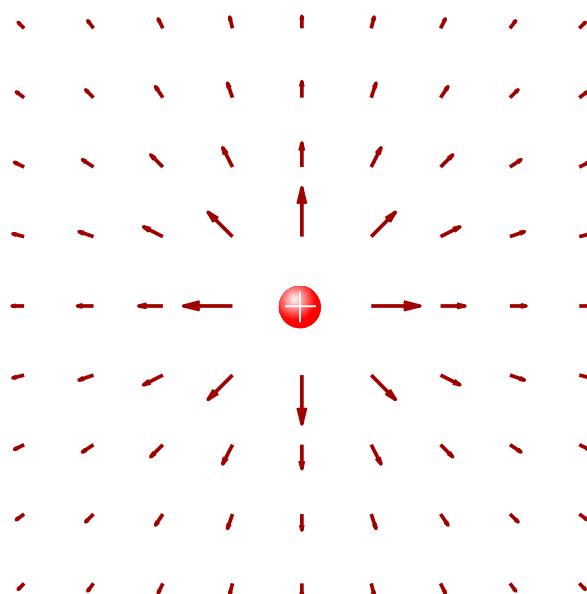
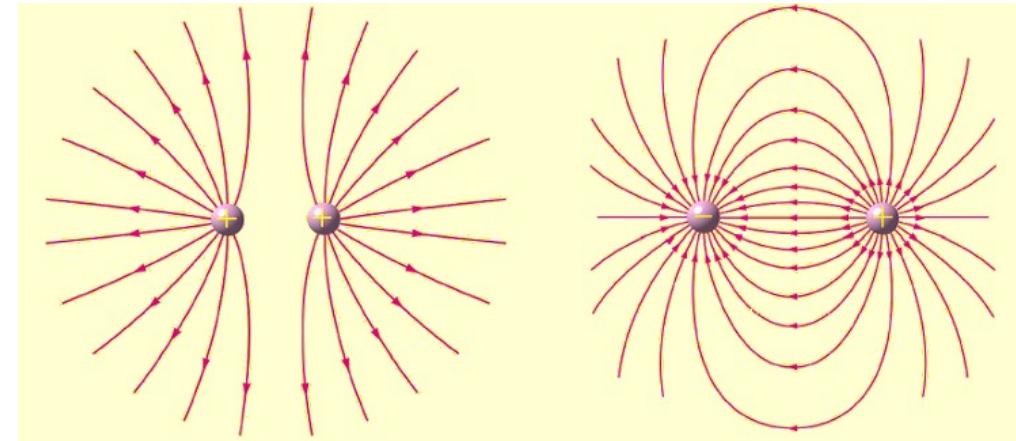


Réiproquement, un champ magnétique variable est susceptible de générer un courant électrique



Champ électrique

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



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

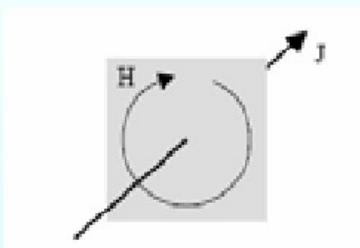
$$E = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon d}$$

Relations entre champs E et B des équations de Maxwell

Loi d'Ampère

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{M} = \sum \text{courants enlacés}$$

contour fermé



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

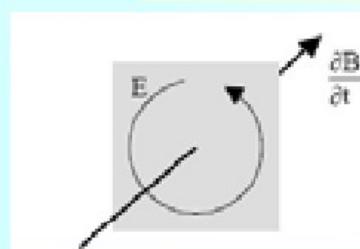
courant de conduction

courant de déplacement

Loi de Faraday, Lenz

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

contour fermé C



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

Théorème de Gauss (flux du champ E)

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

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

ρ : densité de charge en Cm^{-3}

Flux du champ B

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

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

Équations constitutives caractérisant les matériaux :

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

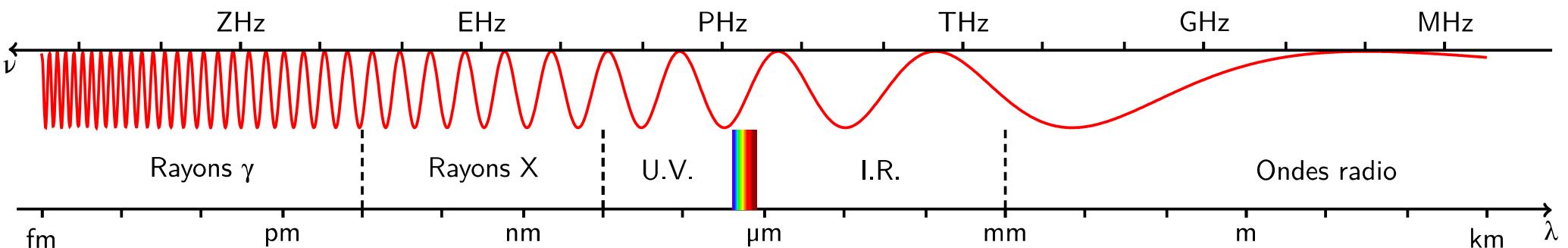
conductivité

permittivité

perméabilité

Longueur d'onde

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



Spectre électromagnétique

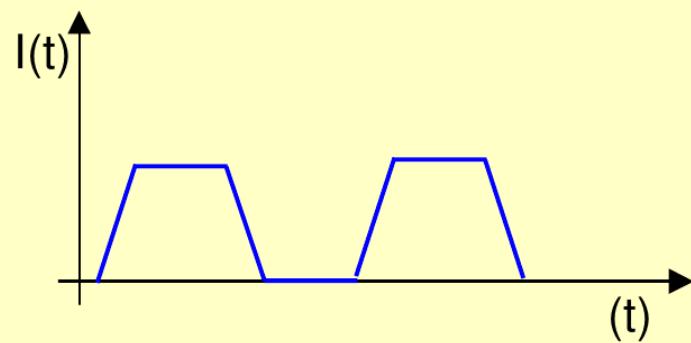
Longueur d'onde (dans le vide)	Domaine	Fréquence	Commentaire
supérieure 10 m	radio	inférieure à 30 MHz	
de 30 cm à 1 mm	micro-onde (Wi-Fi, téléphones portables, radar, etc.)	de 1 GHz à 300 GHz	incluses dans les ondes radio
de 500 μm à 780 nm	infrarouge norme NF/en 1836	de 0,5 THz à 350 THz	
de 780 nm à 380 nm	lumière visible	de 350 THz à 750 THz	<ul style="list-style-type: none"> 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.

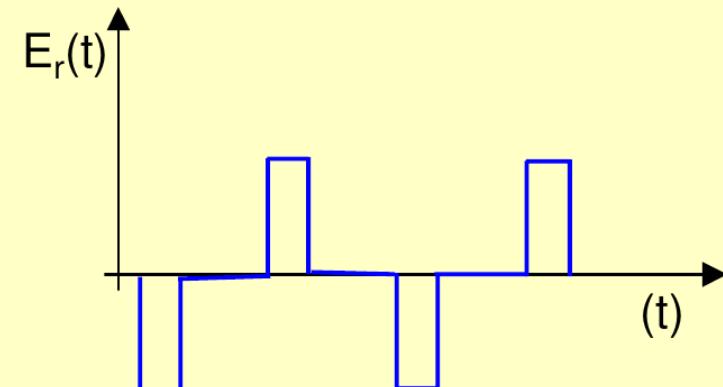


Accroissement des problèmes C.E.M. liés à :

- ⇒ 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

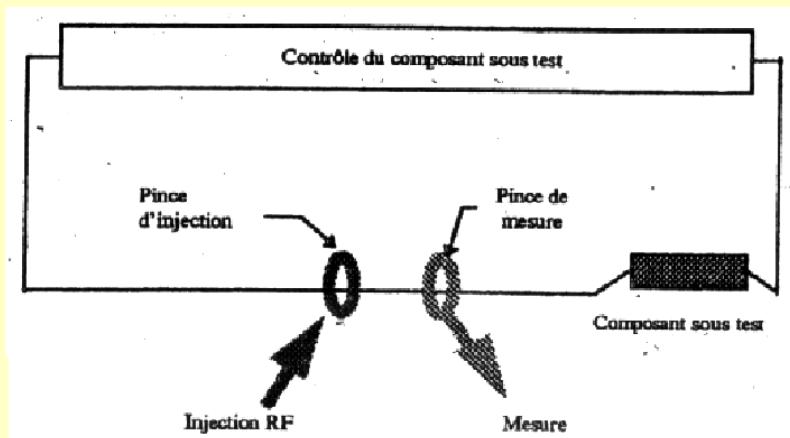
Mesure de la susceptibilité d'un composant

Agression directe du composant :

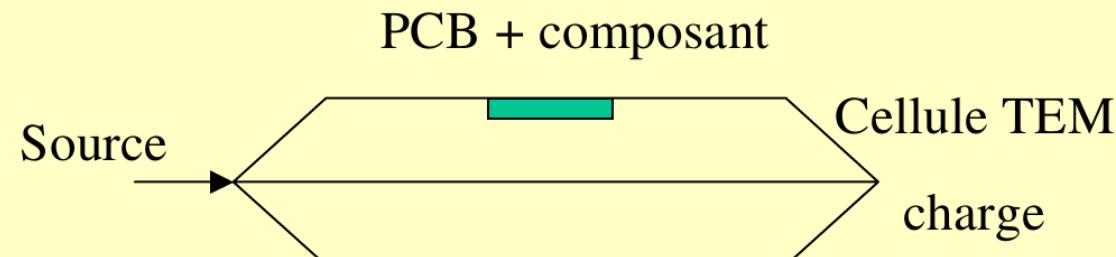


Mesures des dysfonctionnements

Injection par pince :



Agression dans une cellule T.E.M. :



Sensibilité d'un élément

Tests effectués sur une grande quantité.

Composants

Diodes hyper

Circuits intégrés CMOS

Transistor faible puissance

Diode zéner

Relais

Résistance en carbone (0,25 W)

Seuils énergétiques de destruction

$10^{-4} - 10^{-3}$ mJ

$10^{-3} - 10^{-2}$ mJ

$10^{-2} - 10^{-1}$ mJ

$10^{-3} - 10^{-2}$ mJ

$10 - 100$ mJ

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 Organisation for Standardisation

↓
Partie électrique

CEI : Commission Electrotechnique International

□ Niveau européen :

CEN : Comité Européen de Normalisation

↓
Partie électrique

CENELEC : Comité Européen de Normalisation Electrique

□ Niveau français :

AFNOR : Association Française de Normalisation

↓
Partie électrique

CEF : Comité Electrotechnique Français

Normalisation en C.E.M.

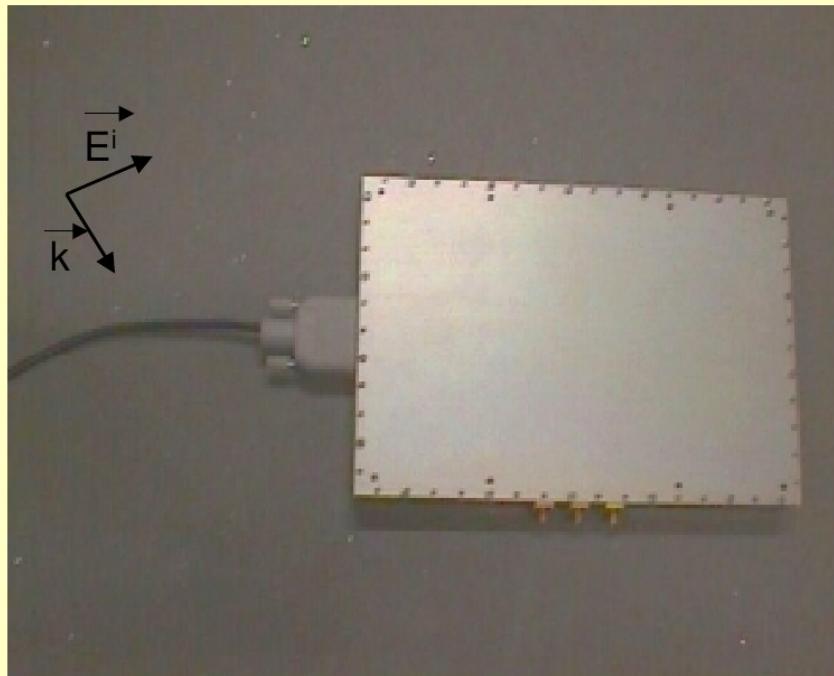
□ Objectifs d'une norme :

- ↳ 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.